



STUDIARE  
**FISICA**  
ALLA SAPIENZA

INFORMAZIONI  
ORIENTAMENTO  
SUI CORSI  
DI LAUREA

*Siamo lieti di pubblicare una versione aggiornata del volume contenente le informazioni relative all'attività scientifica e didattica del Dipartimento di Fisica.*

*Tale libretto ha lo scopo di illustrare agli studenti la struttura dei diversi cicli degli studi in Fisica alla Sapienza (Laurea, Laurea Magistrale e Dottorati) e di fornire informazioni e notizie pratiche sull'attività didattica. Il libretto descrive inoltre brevemente l'ampio spettro delle attività di ricerca presenti nel nostro Dipartimento allo scopo di permettere agli studenti di orientarsi nella scelta dell'indirizzo e del settore scientifico nel quale intendono cimentarsi.*

*Riteniamo che tali informazioni siano utili alle matricole e a tutte le studentesse e gli studenti che studiano e lavorano nel nostro Dipartimento come strumento di mutua conoscenza.*

*Ulteriori informazioni e aggiornamenti sulle attività del Dipartimento di Fisica possono essere trovate all'indirizzo web: <https://www.phys.uniroma1.it/fisica/didattica/orientamento> dove è anche possibile scaricare il presente volume in formato PDF.*

*Shahram Rahatlou  
Direttore del Dipartimento di Fisica*

A cura del  
Dipartimento  
di Fisica

hanno collaborato

Shahram Rahatlou  
Cesare Bini  
Antonio Polimeni  
Sonia Riosa

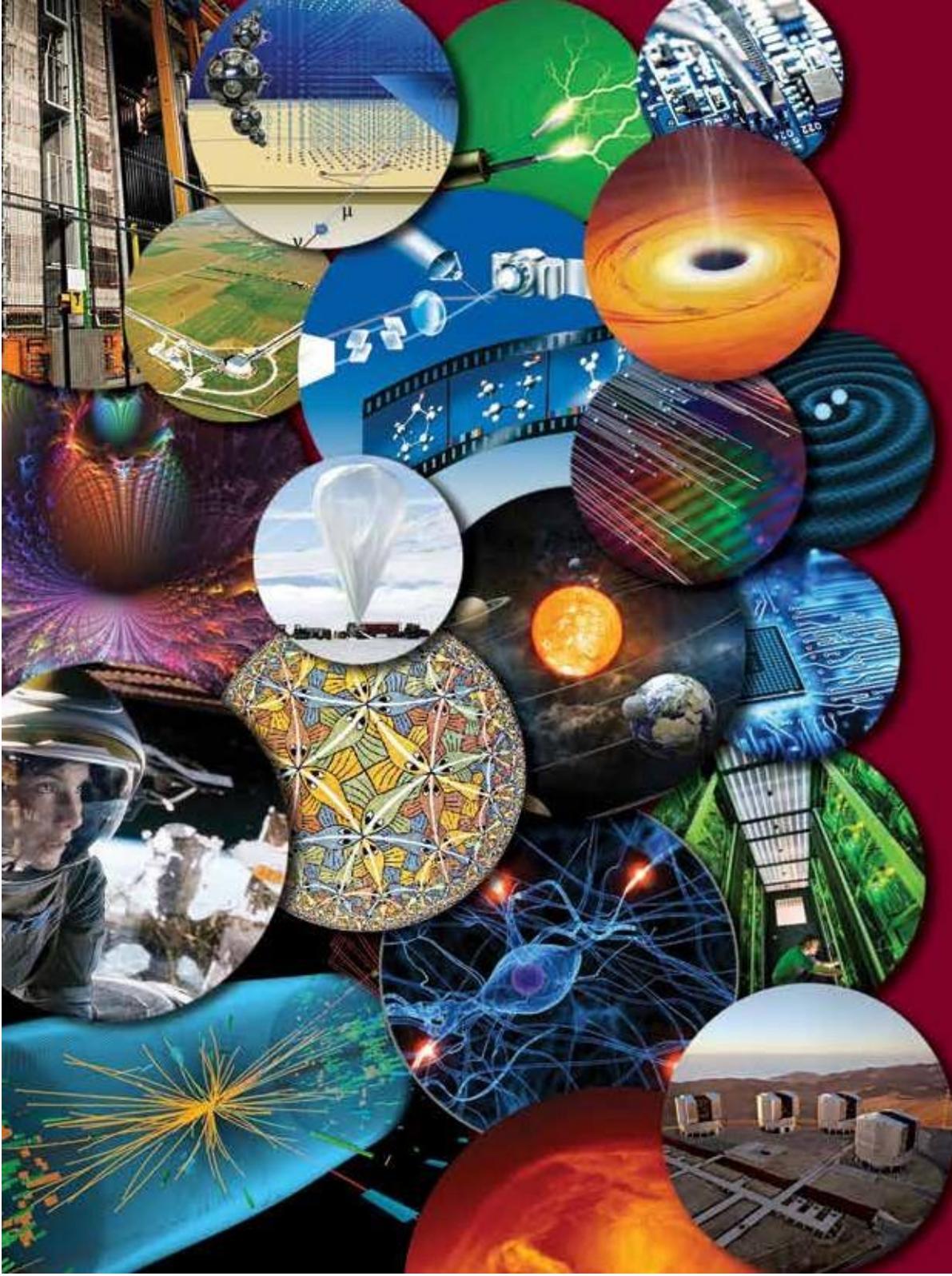
si ringraziano inoltre

I gruppi di ricerca  
del Dipartimento di Fisica  
Il personale della  
biblioteca  
Le segreterie  
didattiche del Dipartimento

progetto  
grafico  
Fulvio Medici

# INDICE

5	Le ricerche in fisica
31	I Protagonisti
43	Informazioni agli studenti
46	Le Lauree in Fisica
57	I dottorati di ricerca
60	Le strutture



## Le ricerche in fisica alla Sapienza

I fisici del nostro Dipartimento sono attivi in tutte le aree di ricerca descritte nella figura. Nonostante le diverse aree differiscano talvolta anche in maniera rilevante per quanto riguarda metodi di indagine, dimensioni delle attrezzature sperimentali, strumenti di calcolo o ampiezza delle ricadute applicative, spesso la linea di demarcazione tra settori di diversa denominazione tradizionale non può essere tracciata in maniera netta.

È il caso, per esempio, di due campi abbastanza lontani tra loro fino a tempi relativamente recenti come l'astrofisica e la fisica delle particelle elementari, che si trovano oggi sotto molti aspetti a confrontarsi con gli stessi problemi. Si parla anche di "fisica astroparticellare": rispondere a domande sul "sempre più piccolo" equivale oggi a rispondere a domande sul "sempre più vicino alla nascita dell'universo".

Allo stesso modo, ricerche originate come speculazioni relativamente astratte e lontane dalle applicazioni in meccanica statistica si rivelano fondamentali per rispondere ad interrogativi sul funzionamento di sistemi biologici complessi (è il caso della ricerca sulle reti neurali, un settore fertilissimo che si situa all'intersezione tra fisica statistica, biofisica, cibernetica e fisica della materia).

Nel seguito troverete, senza alcuna pretesa di completezza, brevi indicazioni su alcune delle grandi questioni intorno a cui si lavora in Dipartimento, sui più stimolanti problemi aperti e sulle prospettive della ricerca avanzata in questi settori.

- Fisica delle particelle elementari
- Fisica della Materia
- Astrofisica e Cosmologia
- Fisica teorica
- Biofisica

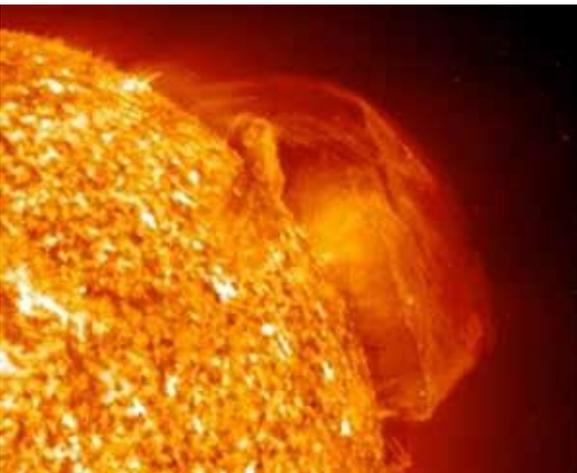
## Fisica delle particelle elementari

La fisica delle particelle studia i costituenti fondamentali della materia e le loro interazioni. Questa disciplina però non si limita a studiare l'infinitamente piccolo. Le ricerche condotte in questo campo hanno infatti un sempre maggiore impatto nella cosmologia e nello studio delle strutture dell'Universo a grande scala, nonostante resti aperto il problema dell'introduzione della gravità a livello quantistico. In certi casi le tecniche e le metodologie sviluppate in campi apparentemente molto lontani si fondono per dar luogo a discipline nuove come la fisica astro-particellare, che impiega strumenti e tecniche della fisica delle particelle per lo studio del cosmo.

Negli ultimi anni sono stati fatti grandissimi passi in avanti in questo settore, anche grazie ai fisici del nostro Dipartimento, che hanno avuto e continuano ad avere ruoli chiave negli esperimenti di fisica delle particelle che si svolgono nei più avanzati laboratori di tutto il mondo. La fisica delle particelle, avvalendosi di strumenti estremamente complessi, al limite delle tecnologie esistenti, ha infatti un carattere fortemente internazionale.

Tra i risultati più importanti ottenuti dai nostri gruppi di ricerca ricordiamo la scoperta del **bosone di Higgs** nel 2012 e la prima osservazione diretta di **onde gravitazionali** compiuta nel 2015.

L'attenzione dei fisici del nostro Dipartimento è concentrata per lo più in ricerche di "nuova fisica": fenomeni nuovi talvolta inaspettati, talvolta previsti dai fisici teorici. La presenza di nuova fisica si può evidenziare grazie a misure di precisione o allo studio di processi rari o vietati nel Modello Standard. Questo tipo di ricerche si conduce in molti casi studiando processi rari di bassa energia con esperimenti su fascio a bersaglio fisso, alla ricerca di fenomeni vietati dal Modello Standard, ma permessi secondo altre teorie come quella che prevede l'esistenza di neutrini di Majorana.



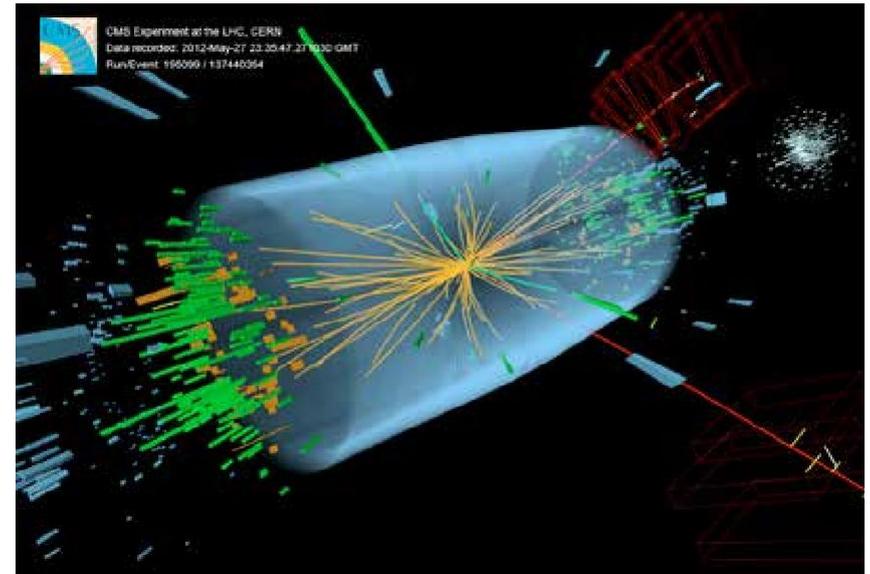
La forza debole è alla base della combustione dell'idrogeno nelle stelle

Questi ultimi si possono manifestare attraverso il cosiddetto decadimento "doppio beta", in cui nuclei di tellurio trasmutano in xenon producendo due elettroni senza emissione di neutrini: un esperimento di questo tipo si svolge ai Laboratori INFN del GranSasso.

Informazioni sulla presenza di nuova fisica si possono ottenere anche con esperimenti ai collider come **DAPHNE**, presso i Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN, o come **MEG** presso il Laboratorio PSI in Svizzera.

Nuove particelle si cercano anche presso i grandi acceleratori come **LHC**, dove le teorie che descrivono le interazioni tra i costituenti fondamentali della materia sono continuamente sottoposte a test sperimentali. Nei prossimi anni gli esperimenti **ATLAS** e **CMS**, cui lavorano molti fisici del Dipartimento, continueranno le ricerche in questo campo.

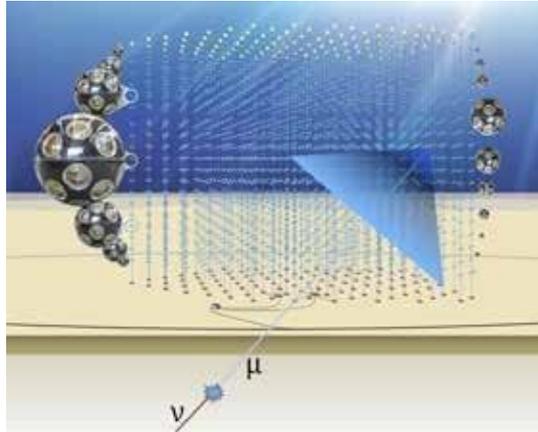
Come esempio di contaminazione tra discipline apparentemente diverse citiamo il problema della "materia oscura", la cui natura è ancora sconosciuta nonostante molteplici misure astrofisiche ne suggeriscano l'esistenza.



Un esempio di evento dovuto al decadimento di un bosone di Higgs al CERN

Nel nostro Dipartimento si svolgono e si preparano nuovi esperimenti per la rivelazione diretta e indiretta di questo tipo di particelle.

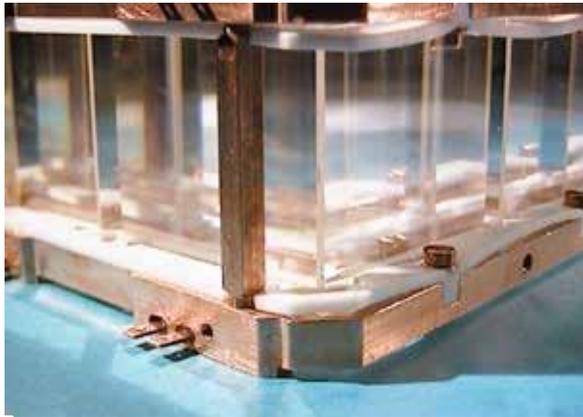
Lo studio dei raggi cosmici di alta energia fa parte degli interessi di ricerca del Dipartimento di Fisica: di particolare rilievo sono i nuovi esperimenti che utilizzano detector sottomarini per rivelare eventi prodotti dai neutrini cosmici, che possono recare preziose informazioni provenienti dalle più remote regioni dell'Universo. Un altro esempio di contaminazione tra discipline diverse.



*I rivelatori sottomarini dell'esperimento KM3 rivelano i neutrini cosmici attraverso la radiazione Cerenkov emessa dai muoni prodotti nelle loro interazioni*

Lo studio sperimentale della fisica delle particelle, inoltre, consente di sviluppare tecnologie che si possono impiegare nei campi più vari: dalla fisica medica alla sicurezza, dall'agricoltura all'industria dei semiconduttori.

Non va, infine, dimenticato il calcolo scientifico: a Roma esiste uno dei Centri di Calcolo più efficienti al mondo per gli esperimenti LHC, che è anche un ottimo esempio di **green computing**.



*Un particolare dei cristalli di biossido di tellurio dell'esperimento CUORE per la ricerca del decadimento doppio beta senza neutrini*

## Astrofisica

L'Astrofisica, più che un settore della Fisica, è da intendere come quella disciplina che applica le conoscenze di tutti i settori della fisica alla comprensione della fenomenologia legata ai corpi celesti e alla distribuzione della materia e dell'energia nell'Universo.

Da un lato essa si basa su osservazioni dei fenomeni cosmici, sui quali non si può avere un controllo diretto, diversamente da quanto accade negli esperimenti di laboratorio. D'altro canto gli astri e il cosmo rappresentano proprio dei "laboratori" in cui si possono realizzare naturalmente situazioni estreme non sperimentabili a terra. Talvolta, infatti, le teorie fisiche possono avere un diretto riscontro solo in fenomeni astronomici come esplosioni di supernovae, buchi neri, lenti gravitazionali, stelle di neutroni, ecc..

Le osservazioni coinvolgono l'intero spettro elettromagnetico e, di conseguenza, le tecnologie più diverse: dai radiotelescopi e interferometri di dimensione planetaria, agli osservatori spaziali per la radiazione infrarossa, ultravioletta e visibile e per i raggi X e gamma, ai grandi telescopi ottici a terra.

Sul cosmo sono aperte anche "finestre non elettromagnetiche": neutrini, raggi cosmici di altissima energia (molto maggiore di quella ottenibile nei grandi acceleratori di particelle) e, potenzialmente, la radiazione gravitazionale prevista dalla teoria della relatività generale.



*I quattro telescopi da 8.2 m del Very Large Telescope dell'ESO (European Southern Observatory), utilizzabili come interferometro (VLTI). Cerro Paranal (Cile)*

Le attività di ricerca teoriche e osservative del nostro Dipartimento riguardano alcune delle domande fondamentali dell'astrofisica:

- Qual è la geometria e quale la dinamica globale dell'Universo ?
- Quali sono le distribuzioni di galassie e di materia oscura nell'Universo e il loro legame con la dinamica cosmica complessiva ?
- Come sono nati e come evolvono galassie e nuclei galattici attivi ?
- Come si alimenta il "motore centrale" di un nucleo galattico attivo, e quale è la sua relazione con la dinamica della galassie che lo ospita ?
- Quali sono i meccanismi che spiegano la distribuzione spettrale, dalle radiofrequenze ai raggi gamma, delle sorgenti cosmiche di alta energia ?
- Qual è il comportamento della materia estremamente densa che si trova nel nucleo delle stelle di neutroni?
- Qual è il comportamento dell'interazione gravitazionale nel regime di campo forte, come quella prodotta da buchi neri e stelle di neutroni?



Diversi ricercatori del nostro Dipartimento sono inoltre attualmente impegnati nella analisi dati della missione spaziale Planck della **Agenzia Spaziale Europea** che ha recentemente prodotto le mappe più accurate della radiazione di fondo cosmico.

I risultati di tale esperimento, ritenuti i più importanti per la cosmologia negli ultimi dieci anni, hanno stabilito in maniera praticamente definitiva la correttezza della nostra visione dell'Universo e ridefinito il suo contenuto energetico.

*Il satellite Planck  
base di lancio di Kourou  
(Guiana Francese)*

## La radiazione di fondo dell'Universo

Provenendo dalle fasi primordiali dell'universo, la radiazione cosmica nelle microonde (CMB) permette di sondarne l'origine, ed i fenomeni fisici che avvenivano in condizioni così estreme. Inflazione cosmica, Bariogenesi e asimmetria materia antimateria, Nucleosintesi ed origine degli elementi, Ricombinazione e formazione degli atomi sono tutti processi investigabili tramite studi dettagliati del fondo cosmico di microonde. Dopo le misure di Planck, i ricercatori del nostro Dipartimento sono impegnati nello sviluppo di esperimenti da pallone stratosferico, che forniscono un accesso rapido e relativamente economico allo spazio vicino (come dimostrato dall'esperimento Boomerang, che ha dato inizio alle misure di precisione della CMB). L'esperimento **LSPE-SWIPE** sonda, tramite lo studio della polarizzazione del CMB, il processo di inflazione cosmica, ipoteticamente avvenuto un attimo dopo il big-bang, e le onde gravitazionali primordiali ad esso associate. L'esperimento **OLIMPO** studia il plasma presente nell'universo soprattutto negli ammassi di galassie) ed il processo di reionizzazione avvenuto alla formazione delle prime stelle. L'esperimento **COSMO-LDB** studia le deviazioni del CMB dallo spettro di corpo nero, legate a fenomeni primordiali. Per realizzare questi esperimenti si inventano e sviluppano apparati di misura innovativi, come ad esempio i rivelatori a induttanza cinetica, realizzati in collaborazione con IFN/CNR e provati per la prima volta nello spazio con l'esperimento OLIMPO. Inoltre si svolgono misure CMB da terra, in Antartide (base Concordia, esperimento **COSMO**) e sulle Ande (**QUBIC**).

*L'esperimento  
OLIMPO,  
lanciato a Luglio  
2018 dalle Isole  
Svalbard  
(Artide)*



## Una nuova Astronomia con le onde gravitazionali

Le Onde gravitazionali sono il nuovo messaggero che trasporta informazioni sulla dinamica degli oggetti presenti nell'universo. L'osservazione di questi segnali affianca quelle della Astronomia tradizionale basate sulla rivelazione di segnali elettromagnetici e la nascente Astronomia dei Neutrini.



Veduta aerea dell'interferometro Virgo

Virgo è uno degli interferometri della rete di rivelatori avanzati di Onde Gravitazionali, che include i due analoghi strumenti americani LIGO e il quarto interferometro Giapponese KAGRA.

LIGO e Virgo hanno osservato il cielo e rivelano segnali di coalescenza di sistemi binari formati da due buchi neri, o da due stelle di neutroni o da sistemi misti stella di neutroni-buco nero.

L'esplorazione dell'universo tramite le onde gravitazionali continua e nei prossimi anni KAGRA affiancherà la terna LIGO-Virgo, arricchendo il catalogo di eventi raccolti anche con segnali associati a processi astrofici differenti, quali la rotazione delle stelle dei neutroni e le esplosioni di supernove, costruendo così un modo completamente nuovo di fare Astronomia.

## Fisica, Complessità e Disordine

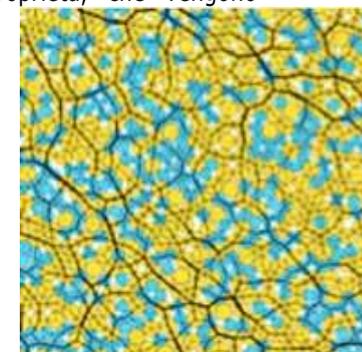
### Fisica statistica dei sistemi disordinati...

La meccanica statistica è un ramo della fisica che si è sviluppato dalla fine del XIX secolo con lo scopo di descrivere fenomeni naturali in cui sono coinvolti un numero enorme di elementi costituenti, quali molecole, atomi, elettroni, ecc. Essa ha permesso di comprendere la termodinamica da un punto di vista microscopico. Per esempio, l'entropia, che in termodinamica è definita in termini del calore scambiato in una trasformazione, acquisisce ora un significato completamente nuovo. L'entropia misura il numero di stati (configurazioni) microscopici che il sistema può assumere, un concetto che è poi stato esportato in molti altri ambiti. La meccanica statistica ha anche permesso di capire come una stessa sostanza possa avere fasi diverse e le transizioni tra queste fasi: esempi comuni sono le transizioni solido-liquido e liquido-vapore che subisce l'acqua rispettivamente a 0 e 100 gradi Celsius.

Molte delle sostanze che si incontrano nella vita quotidiana possono presentarsi in tre stati (o fasi) diversi, a seconda della temperatura: uno stato solido ordinato, in cui gli atomi o le molecole occupano i siti di un reticolo cristallino, uno stato liquido ed uno stato gassoso. Tuttavia, queste non sono le sole possibilità: la Natura è molto più varia e si possono osservare sostanze con comportamenti differenti. Una classe di sistemi molto interessante è rappresentata dai sistemi vetrosi. A densità sufficientemente alte essi mostrano una fase amorfa, con caratteristiche del tutto nuove e, ancor oggi, non del tutto comprese. Un modello molto semplice di tali materiali è dato da una miscela di sfere di raggi diversi che possano deformarsi elasticamente. Pur aumentando la densità, il sistema non è in grado di formare un solido ordinato. La distribuzione delle sfere rimane disordinata e le forze che agiscono tra di esse possono avere intensità molto diverse perché non tutte le sfere sono premute dai vicini in ugual modo (nella figura l'intensità delle forze è data dallo spessore delle linee nere).

I sistemi vetrosi mostrano bizzarre proprietà, che vengono

sfruttate in molti ambiti. Lo studio dei vetri è infatti oggi un campo molto vasto, che interessa fisici, chimici ed ingegneri, ciascuno dei quali, con le proprie competenze, studia le diverse caratteristiche dei vetri, con importanti ricadute sullo sviluppo di nuovi materiali. Nel nostro Dipartimento vi è una intensa attività di ricerca sui sistemi disordinati, focalizzata soprattutto sulla comprensione dei principi fondamentali

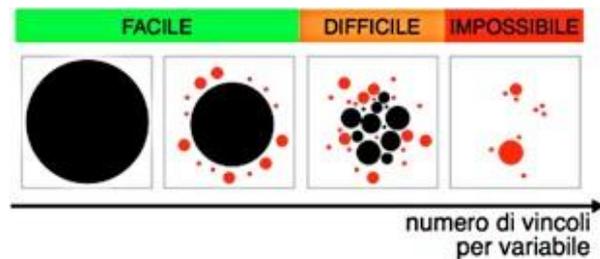


che spiegano la varietà dei comportamenti osservati, utilizzando sia metodi analitici, sia simulazioni numeriche di grande scala.

### Fisica statistica dei sistemi disordinati e sue applicazioni

Sebbene la meccanica statistica si sia sviluppata con lo scopo di descrivere sistemi di materia condensata composti di un numero enorme di elementi (solidi, liquidi, gas), nulla vieta di usare le stesse tecniche per studiare altri problemi di natura diversa, ma sempre composti di un numero enorme di variabili interagenti: ad esempio, reti neuronali o reti di interazione tra biomolecole in biologia, fino a problemi di ottimizzazione ed inferenza statistica in computer science. Si tratta spesso di problemi complessi, in cui il comportamento del sistema intero non è solo la "somma delle parti", ossia l'interazione - anche semplice, ma intensa - tra le tante variabili può generare un comportamento collettivo inatteso (in analogia al fatto che osservando un bicchiere d'acqua a temperatura ambiente è difficile dire che quel sistema a 0 e 100 gradi Celsius cambia drasticamente il suo stato).

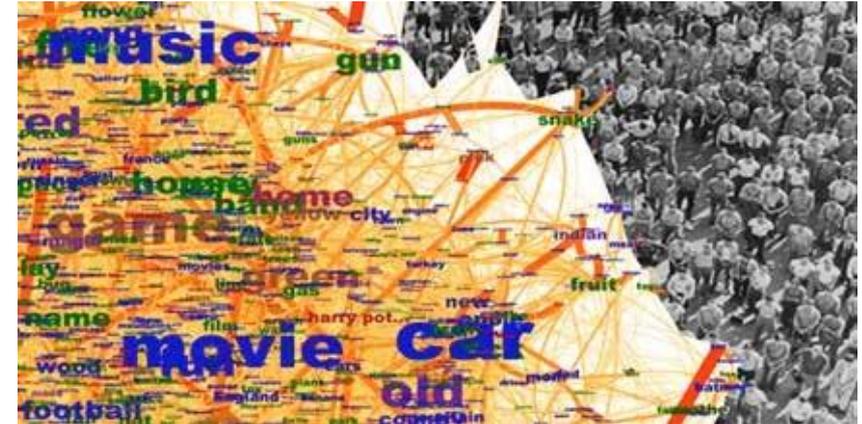
Nell'ottimizzazione lo scopo è quello di trovare una configurazione delle variabili del problema che soddisfi tutti i vincoli (si pensi, ad esempio, al famoso problema di colorare una mappa in modo che due stati confinanti non siano dello stesso colore). Lo studio teorico di questi problemi si è concentrato sul capire quale sia l'origine della cosiddetta complessità computazionale che rende praticamente impossibile risolvere alcuni di questi problemi se il numero di variabili diventa troppo grande. La fisica statistica ha permesso di ottenere una descrizione molto dettagliata dello spazio delle soluzioni.



Un esempio è mostrato in figura: all'aumentare del numero di vincoli per variabile, il numero di soluzioni, rappresentate dalle zone colorate, non solo diminuisce, ma la loro struttura cambia drasticamente (si formano cluster disconnessi di soluzioni e i cluster rossi contengono soluzioni che si pensa impossibili da trovare).

Questi cambiamenti drastici sono delle vere e proprie transizioni di fase e hanno conseguenze dirette sugli algoritmi che devono risolvere problemi di ottimizzazione e di inferenza statistica, che interessano molte discipline scientifiche. L'attività del nostro Dipartimento gioca un ruolo di primo piano a livello internazionale in queste applicazioni.

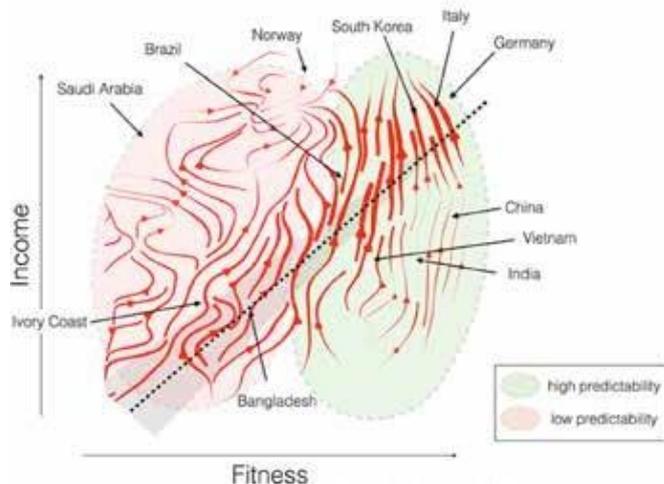
### Complessità nei sistemi socio-economici



Sistemi 'tecnico-sociali' è la locuzione usata correntemente per identificare sistemi sociali in cui la tecnologia si fonde in maniera originale e imprevedibile con aspetti cognitivi, comportamentali e sociali, propri degli esseri umani. Le nuove tecnologie della comunicazione e dell'informazione (ICT) svolgono un ruolo sempre più pervasivo per la nostra cultura e la nostra quotidianità. Questa rivoluzione non giunge evidentemente senza controindicazioni, e nelle nostre società complesse emergono costantemente nuove sfide globali che richiedono nuovi paradigmi e pensiero originale per essere affrontate: i cambiamenti climatici, le crisi finanziarie globali, le pandemie, la crescita delle città, l'urbanizzazione e i modelli di migrazione, solo per citare alcuni esempi.

Negli ultimi anni, la Fisica Statistica ha mostrato di poter giocare un ruolo rilevante per la comprensione ed il controllo delle dinamiche sociali, in un vero sforzo trans-disciplinare che vede impegnati fisici, matematici, informatici, scienziati sociali e umanisti. Si aprono dunque prospettive, fino a pochi anni fa inimmaginabili, che mescolano in maniera sapiente diversi fattori. Da un lato gli strumenti teorici e di modellizzazione propri della fisica dei sistemi complessi connessi alla capacità di analizzare, interpretare e visualizzare complesse moli di dati (big data). D'altro canto la vera essenza dei sistemi tecnico-sociali fornisce un'opportunità unica di sfruttare le nuove tecnologie della comunicazione e dell'informazione (ICT) per monitorare e quantificare le tracce digitali dei comportamenti umani e dei fenomeni collettivi sociali con una risoluzione senza precedenti.

Il nostro Dipartimento è stato tra i pionieri di queste attività e vanta un'ottima tradizione in questi ambiti. Esempi concreti spaziano dallo studio della dinamica dell'informazione e alla dinamica delle opinioni e delle norme ai processi di diffusione e assimilazione culturali, dalle dinamiche del linguaggio ai processi d'innovazione, dalla consapevolezza individuale ai processi decisionali, fino alle dinamiche dell'apprendimento. Agli strumenti teorici e computazionali è oggi possibile affiancare la possibilità di realizzare dei veri e propri esperimenti sociali sul web, i quali possono essere presentati al pubblico sotto forma di gioco al fine di aumentarne la partecipazione. Recentemente, nel nostro Dipartimento si è sviluppata una linea di ricerca che studia fenomeni sociali, economici e finanziari utilizzando modelli e metodologie prese in prestito dalla Fisica Statistica e dalla Fisica dei Sistemi Complessi. Analizzando i Big Data del commercio internazionale forniti dall'ONU è possibile definire la complessità economica di un paese, ovvero la sua competitività e potenzialità da un punto di vista industriale e tecnologico, descrivendola con un'unica quantità chiamata Fitness. Ciò è stato possibile grazie ad un algoritmo, simile in spirito, ma diverso dal punto di vista matematico, a quello usato da Google per ordinare le pagine web dalla più alla meno rilevante. Tale algoritmo è stato applicato alla rete dei paesi e dei prodotti da essi esportati. Nella figura è riportata l'evoluzione temporale della ricchezza (ordinata) e della Fitness (ascissa) per diverse nazioni. Per bassi valori della Fitness (parte sinistra del grafico) il moto è caotico e irregolare, mentre per le nazioni con alta Fitness (parte destra del grafico) si osserva un flusso regolare verso l'alto, ad indicare il fatto che i diversi paesi crescono in maniera sistematica. Questo tipo di approccio, diverso nello spirito e nella metodologia rispetto alle analisi economiche standard, consente di fare previsioni a lungo termine e di dare suggerimenti per migliorare la competitività industriale dei paesi.



## Fotonica: l'arte della luce

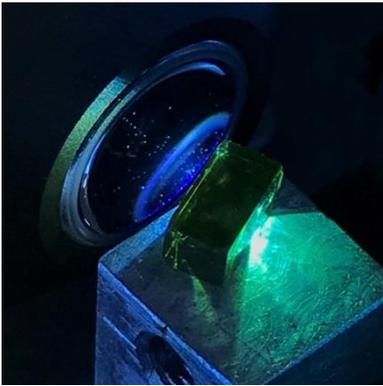
La fotonica è la scienza che studia la propagazione e la generazione della luce; è la scienza dei laser e delle relative applicazioni, nella microscopia, nelle telecomunicazioni, negli esperimenti scientifici, fino alle nuove tecniche per l'accelerazione delle particelle. La fotonica nasce con l'invenzione del laser, che è l'acronimo inglese per "light amplification by stimulated emission of radiation", un dispositivo i cui fondamenti teorici si possono far risalire ad Albert Einstein, ma che è stato realizzato per la prima volta nel 1960, da Theodore H. Maiman.

Da allora il campo della fotonica è in continua accelerazione, basti osservare che una gran parte dei premi Nobel in fisica degli ultimi anni sono riconducibili ad applicazioni dei laser. Grazie a queste sorgenti di luce, oggi possiamo produrre picchi di energia così intensi da indurre la fusione nucleare. I laser più moderni sono così precisi da poter essere utilizzati come degli orologi che consentono l'esplorazione dei limiti di validità delle leggi fisiche. Una frontiera è lo studio in laboratorio delle costanti fisiche fondamentali, e la direzione è quella di sviluppare esperimenti in grado di testare le teorie quantistiche della gravità. Interferometri laser, che consentono la misura delle lunghezze, sono oggi utilizzati per osservare fenomeni astrofisici come le onde gravitazionali.

Nel nostro Dipartimento si studiano queste applicazioni moderne dei laser con lo scopo di determinare i limiti estremi della propagazione della luce, come riuscire a far passare un fascio laser attraverso la pelle umana per realizzare nuove tecniche per la microscopia. Si sviluppano anche nuovi materiali per applicazioni prima impensabili, come l'invisibilità, o come la realizzazione di corpi in grado di assorbire energia ad altissima efficienza, si pensi, per esempio, alle celle solari.

La figura in alto nella pagina successiva mostra la propagazione di un laser attraverso una perovskite in grado di rettificare il cammino ottico di un fascio di luce indipendentemente dall'angolo di incidenza e dal colore.

Nel nostro Dipartimento sviluppiamo anche applicazioni ispirate dal modo in cui la natura stessa utilizza la fotonica. Esistono fiori, come le stelle alpine, in grado di sopravvivere anche in presenza di alte concentrazioni di radiazione ultravioletta perché la morfologia dei petali fornisce la capacità di riflettere le lunghezze d'onda più corte che provengono dal Sole. Questa è la scienza dei colori strutturali, cioè quelle proprietà ottiche che non si basano sulle chimica, ma sulle proprietà fisiche, come la forma e la densità, di un materiale. Grazie a questa scienza possiamo sapere che colore avevano animali vissuti centinaia di milioni di anni fa. Lo studio dei colori strutturali e delle relative applicazioni è di fondamentale importanza, e viene sviluppato mediante esperimenti, modelli teorici, e simulazioni sulle più avanzate risorse computazionali. E' difficile pensare oggi alla fisica senza la fotonica; questa scienza è così importante che si può ormai considerare una disciplina indipendente, le cui applicazioni hanno oggi le più grandi ricadute sociali, economiche e scientifiche.



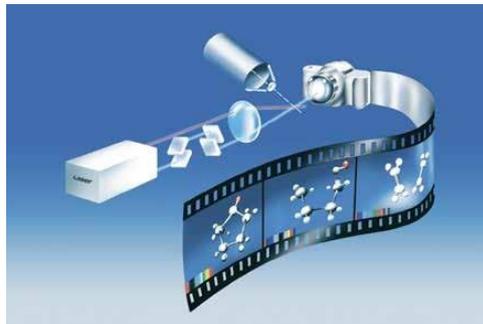
Nel nostro Dipartimento molti gruppi fanno uso di laser e delle tecnologie fotoniche, e sono sviluppate le maggiori applicazioni di questo campo di ricerca.

### Guardare i processi fisici in tempo reale con la luce

Come sarebbe guardare un incontro di calcio alla televisione senza disporre della moviola che rallenta le immagini e ci dice se la palla è

entrata o meno in rete? E' oggi giorno possibile costruire una moviola per gli atomi e le molecole, che ci consente di visualizzare processi fisici e chimici fondamentali che avvengono in tempi brevissimi, quali il moto degli elettroni nei dispositivi a semiconduttore o le dinamiche molecolari nei processi biochimici della visione e della fotosintesi. Grazie a sofisticati sistemi laser è oggi giorno possibile generare flash luminosi incredibilmente brevi, della durata di pochi femtosecondi. Un femtosecondo è pari a  $10^{-15}$  secondi, cioè 0.000000000000001 secondi, che sta ad un secondo come un secondo sta a 32 milioni di anni.

Sfruttando la possibilità di variare il ritardo relativo tra due di impulsi ultracorti e' possibile capire per esempio quanto velocemente una molecola originale si trasforma sotto l'azione di un processo chimico. La sequenza ottenuta mettendo insieme gli scatti corrispondenti a ritardi temporali via via crescenti costituisce un vero e proprio film molecolare, ovvero la completa visualizzazione della dinamica di reazione. Oggi molti scienziati in tutto il

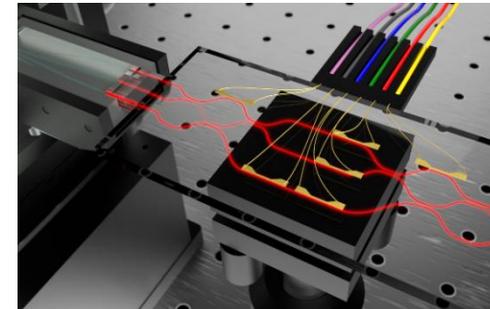


mondo, così come nel nostro Dipartimento, studiano i processi ultrarapidi con la spettroscopia a femtosecondi nei gas, nei liquidi e nei solidi, sulle superfici e nei polimeri. Le applicazioni spaziano dal funzionamento dei catalizzatori molecolari, allo studio dei meccanismi più delicati nei processi della vita, alla progettazione delle medicine del futuro. Dominare la scala temporale del femtosecondo significa quindi unificare l'approccio ai problemi di interesse chimico, fisico e biologico.

### Fotonica quantistica integrata

Il mondo moderno si basa sempre più sulla nostra capacità di elaborare e trasmettere l'informazione. Mentre le tecnologie dell'informatica classica si stanno oggi avvicinando sempre più ai loro limiti fondamentali, in diversi laboratori di ricerca si sta lavorando alle tecnologie del futuro. Tra le più promettenti, c'è la tecnologia dell'informazione quantistica, che sfrutta le proprietà del mondo quantistico per eseguire operazioni che sarebbero impossibili secondo le leggi della fisica classica, come ad esempio proteggere l'informazione codificata in modo assolutamente inviolabile (crittografia quantistica), elaborarla in modo molto più rapido di quanto sarebbe possibile con un computer classico (computazione quantistica), oppure per realizzare una nuova generazione di sensori in grado di sorpassare gli apparati classici (metrologia quantistica). La realizzazione di un computer quantistico in grado di risolvere problemi intrattabili classicamente è tuttora lontana, e diventa quindi necessario individuare opportuni passaggi intermedi per dimostrare il potenziale di un computer quantistico.

Il Dipartimento di Fisica ha dato diversi contributi significativi in questa direzione sfruttando la fotonica integrata. Grazie a una tecnica di scrittura, sviluppata dal CNR, mediante laser ad impulsi ultrabrevi, è possibile disegnare un vero e proprio circuito ottico all'interno di un chip in vetro. Questa tecnologia consente di realizzare microprocessori fotonici, in grado di integrare diverse tipologie di elementi ottici con architetture tridimensionali altamente innovative e permettendo di realizzare circuiti riprogrammabili. I fotoni che si propagano al loro interno possono quindi simulare dinamiche di sistemi complessi ed essere i costituenti fondamentali di sensori avanzati.



*Raffigurazione schematica di un simulatore quantistico realizzato con fotonica integrata. I singoli fotoni vengono inviati all'interno del dispositivo, e percorrono i diversi cammini permessi realizzati tramite guide d'onda. L'operazione realizzata dal circuito può essere programmata dall'esterno mediante connessioni elettriche.*

La realizzazione di queste nuove tecnologie richiede anche efficienti trasmettitori di segnali ottici quantistici codificati in singoli fotoni. Un'opportunità di sviluppo in questa direzione è offerta dalle nanotecnologie, un altro settore in cui il Dipartimento di Fisica è impegnato con diverse attività (si veda p. 22).

## Fisica della materia

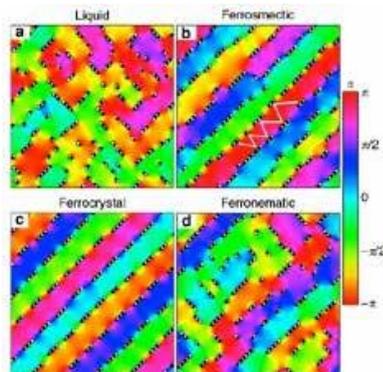
Si indica generalmente come "Fisica della materia" quella parte della Fisica che studia, anziché le proprietà dei costituenti "elementari" nella loro individualità e le caratteristiche ancora sconosciute delle interazioni che si esercitano tra di essi, i comportamenti e le proprietà tipici di aggregati di numerosissimi costituenti di cui sono ben note le proprietà individuali e quelle delle forze che li legano (si tratta in sostanza di interazioni elettromagnetiche), ma che presentano talvolta comportamenti nuovi e inediti dovuti al gran numero di componenti dei sistemi in esame. Le domande che si pongono in questo settore sono le più disparate, e spaziano da questioni di immediato interesse applicativo a quesiti di carattere assolutamente fondamentale.

### Materia dura e materia soffice

La cosiddetta "hard condensed matter" studia la materia allo stato solido e le sue proprietà elettroniche. Gli elettroni nei materiali solidi possono trovarsi in diversi stati, le cosiddette fasi, in cui il materiale assume proprietà molto diverse. Si possono avere fasi elettroniche isolanti, conduttrici, come nei metalli, oppure fasi superconduttrici, in cui la resistenza elettrica è nulla, fasi magnetiche etc.

Attualmente la hard condensed matter, dedica molta attenzione ai sistemi dove convivono o competono diverse fasi elettroniche formando un campo molto vasto che ha forti sovrapposizioni con la Fisica dei sistemi complessi. La comprensione di questi sistemi ha una grande importanza sia concettuale che applicativa, perché si possono creare stati elettronici con proprietà nuove, enfatizzare alcune proprietà creando, ad esempio, superconduttività ad alta temperatura, e permettere facili, rapidi e controllabili cambiamenti delle proprietà elettroniche.

In questo ambito un fenomeno messo in luce di recente è l'emergere di una "morbidezza" elettronica: quando fasi con diverse densità elettroniche competono, si creano fluttuazioni che generano disomogeneità, perché gli elettroni si addensano in alcune regioni e si diradano in altre. Nasce così la materia elettronica soffice, in cui gli elettroni si possono aggregare e ordinare secondo modalità molto simili ai sistemi della materia soffice tradizionale come, ad esempio, i cristalli liquidi usati negli schermi. Un esempio di queste "molecole elettroniche" che si pensa possa formarsi in alcuni materiali è riportato e riportato nella figura accanto.



### La superconduttività

Nel vasto ambito delle proprietà elettroniche emergenti, uno dei problemi di Fisica della materia più dibattuti negli ultimi tre decenni è l'origine della superconduttività ad alta temperatura in certi materiali ceramici. I superconduttori sono noti fin dall'epoca della Prima guerra mondiale e il loro funzionamento è stato compreso negli anni Cinquanta del Novecento. Sono metalli che al di sotto di una temperatura molto vicina allo zero assoluto (-273 °C) offrono una resistenza assolutamente nulla al passaggio della corrente. A causa di ciò, ad esempio, in un semplice filo superconduttore chiuso su se stesso, e senza che vi sia inserito alcun generatore, la corrente può scorrere indefinitamente. I superconduttori oggi sono usati soprattutto per ottenere alti campi magnetici, come quelli che tengono sollevati i treni a levitazione magnetica (vedi foto) e che incurvano la traiettoria delle particelle che viaggiano quasi alla velocità della luce nei grandi acceleratori. Se si riuscisse a far funzionare un superconduttore alla temperatura dell'ambiente si potrebbe trasmettere l'elettricità dalla centrale alle nostre case senza perdite, si potrebbero costruire calcolatori molto più veloci degli attuali oppure fabbricare potenti magneti a costi molto più bassi.



*Un treno a levitazione magnetica come questo, grazie ai suoi magneti superconduttori, trasporta i passeggeri a 550 km/h tra la città di Shanghai e il suo aeroporto*

Un passo avanti in questa direzione fu fatto nel 1986 quando furono scoperti nuovi materiali ceramici superconduttori che funzionano a circa 100 gradi dallo zero assoluto. Tuttavia, sia per migliorare questi materiali che per trovarne di nuovi con temperature di lavoro ancora più alte, bisogna capire come si innesci la superconduttività in queste ceramiche. Anche se si intravedono indicazioni legate alla "morbidezza elettronica", i fisici ancora non lo sanno, nonostante un grande sforzo di ricerca che continua tuttora anche nel nostro Dipartimento.

## Le nanotecnologie

Un altro affascinante campo in cui il nostro Dipartimento è attivo è quello delle nanotecnologie. Negli ultimi anni gli scienziati della materia hanno imparato a costruire nuove architetture atomiche e molecolari e a controllare dimensioni, forma e funzioni di una grande varietà di materiali su scala atomica scoprendo proprietà elettriche, meccaniche, ottiche e magnetiche spesso inattese. Infatti, se atomi e/o molecole si aggregano in strutture su scala nanometrica (1 nanometro=un milionesimo di metro) possono avere proprietà diverse rispetto ai materiali solidi su scala macroscopica.

L'interesse scientifico per lo studio delle proprietà di queste nuove strutture ha fatto sorgere gli ormai diffusi neologismi di **nanoscienza** e **nanotecnologia** per indicare il filone scientifico/tecnologico che si occupa di architettura/ingegneria di nuove strutture atomiche e molecolari con specifiche proprietà e funzionalità. Per esempio:

Un cristallo in due dimensioni è stabile ?

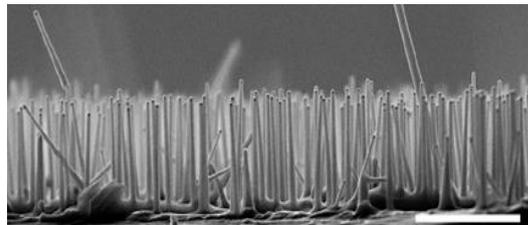
Possono esistere metalli in una dimensione ?

Come variano le proprietà ottiche di un nanocristallo semiconduttore al variare del numero di atomi che lo costituiscono ?

Possiamo quindi considerare le nanostrutture come uno stato della materia le cui proprietà non dipendono solo dalla composizione chimica ma anche dalla dimensione e dalla forma. Questo è il caso dei nanofili mostrati nella figura di sotto le cui principali proprietà derivano proprio dalla grande superficie esposta rispetto al volume dando loro un grande potenziale per applicazioni fotovoltaiche e sensoristiche. Un altro esempio prominente è rappresentato dalle strutture formatesi dall'aggregazione tridimensionale su scale nanometriche di materiali semiconduttori. Infatti, diversi gruppi di ricerca nel mondo stanno spingendo le tecnologie dei semiconduttori mutate dalla micro- e opto-elettronica ai limiti della miniaturizzazione fabbricando nanostrutture tipicamente composte da poche decine di migliaia di atomi.

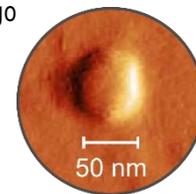
Queste nanostrutture sono anche dette **atomi artificiali** grazie alla loro capacità di confinare nello spazio singoli elettroni e di emettere fotoni in maniera controllata.

*Nano-fili semiconduttori di fosforo di indio, un materiale di interesse per le celle solari e le telecomunicazioni. I nanofili hanno diametro di circa 100 milionesimi di metro e sono lunghi un milionesimo di metro (la barra bianca corrisponde a un milionesimo di metro)*



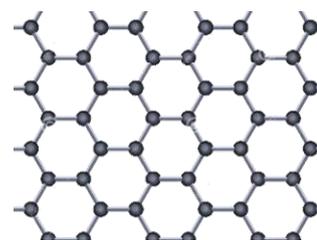
Ricercatori del Dipartimento hanno dimostrato di poter impiegare i quanti di luce così generati in esperimenti di teletrasporto quantistico e lavorano attivamente a strategie di ottimizzazione per l'impiego nelle tecnologie di informazione quantistica.

*Immagine di microscopia a forza atomica con risoluzione sulla scala del miliardesimo di metro. La nanostruttura, evidenziata dalla zona in rilievo, è composta da un cristallo di arseniuro di gallio, materiale impiegato anche per la realizzazione di LED e diodi laser.*



Inoltre, dall'unione della superconduttività con le nanotecnologie nascono nuovi dispositivi, che a loro volta possono essere utilizzati per incrementare notevolmente la sensibilità e la raffinatezza di strumentazione utile in altri ambiti di ricerca (bolometri e microrefrigeratori per misurare la radiazione cosmica, o gli SQUID, che misurano campi magnetici e sono usati da ricercatori del Dipartimento per studiare le leggi fondamentali della Fisica), e trovare poi anche un gran numero di impieghi pratici.

### La famiglia dei cristalli a due dimensioni: il grafene e altri



Il **grafene**, scoperto nel 2004, è costituito da atomi di carbonio disposti su un singolo reticolo planare esagonale a nido d'ape. Il grafene è stato inizialmente isolato dall'esfoliazione della grafite in singoli strati atomici. Presto gli scienziati si sono resi conto dell'eneorme potenzialità di questa nuova forma del carbonio e, nel 2010, i fisici Geim e Novoselov

sono stati insigniti del premio Nobel per la Fisica per aver isolato per primi un singolo strato di grafene e averne messo in luce le singolari proprietà meccaniche, elettriche e termiche.

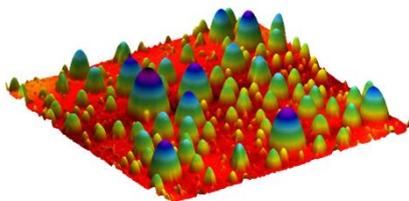
A partire dalla scoperta del grafene, i ricercatori hanno esplorato la possibilità di ottenere altre forme di **cristalli a due dimensioni** a partire da materiali cosiddetti esfoliabili.

Così, come a partire dalla grafite (contenuta per esempio nelle matite) è possibile isolare un singolo strato di atomi di carbonio (il grafene), similmente la natura offre migliaia di altri materiali con questa caratteristica. Nella loro forma bidimensionale, questi cristalli presentano proprietà fisiche e chimiche sorprendentemente diverse dal materiale dal quale sono stati isolati. Come il grafene, si tratta di cristalli estremamente resistenti dal punto di vista meccanico, ma anche flessibili ed elastici.

Inoltre, i cristalli bidimensionali, in base alla loro composizione chimica, possono essere isolanti, metalli, semiconduttori o superconduttori con caratteristiche elettroniche, ottiche e termiche spesso uniche.

Ancor più rilevante è che questi cristalli possono essere combinati tra loro sfruttando così le proprietà peculiari di ciascuna specie chimica. Oggi, come mostrato nella figura a lato, si assemblano come mattoncini Lego superstrutture bidimensionali formate da diversi materiali per realizzare transistor, diodi emettitori di luce, celle solari, batterie, sensori biologici o di gas. Tutto ciò amplia le opportunità di creare nuovi dispositivi dal basso costo e a ridotto consumo energetico.

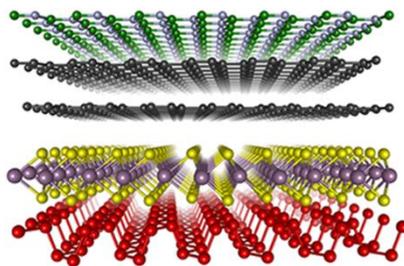
Nel nostro Dipartimento, diversi gruppi di ricerca sintetizzano queste strutture e ne investigano le proprietà elettroniche, ottiche e meccaniche con il supporto di avanzate tecniche di calcolo. Anche la deformazione elastica di questi materiali è oggetto di ricerca grazie alla possibilità di deformarli su scale del milionesimo o miliardesimo di metro come mostrato nella figura a sinistra, e quindi di variarne a piacere le proprietà.



*Immagine di microscopia a forza atomica di un insieme di micro- e nano-bolle di idrogeno incapsulate da strati deformati di un cristallo bidimensionale di MoTe<sub>2</sub>. Il lato dell'immagine misura 8 micron e l'altezza massima è di 100 nanometri.*

## La materia soffice

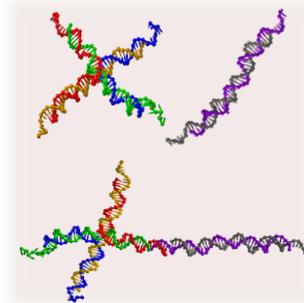
Gli atomi e le molecole, sulla base di interazioni microscopiche, si organizzano per formare stati condensati, gassosi, liquidi, solidi. Tali interazioni sono fissate dalle leggi della meccanica quantistica. La varietà degli stati condensati e le loro diverse proprietà chimico/fisiche (per esempio la loro capacità di condurre elettricità e calore) sono un riflesso della diversità degli atomi e delle molecole che li generano.



*Schema di una superstruttura costituita da cristalli bidimensionali differenti: andando dal basso verso l'alto sono impilati uno strato di fosforo nero, di disolfuro di molibdeno, due strati di grafene e infine uno strato di nitrato di boro esagonale.*

Fisici, chimici e ingegneri dei materiali hanno cercato negli ultimi decenni di estendere il campo dei materiali andando oltre quelli comunemente presenti in natura. Hanno, infatti, costruito (a partire da atomi e molecole) aggregati specifici (particelle) che si mantengono inalterati ma che interagiscono come se fossero atomi (superatomi) su una scala di lunghezza più grande e si organizzano a loro volta in gas, liquidi e cristalli e diverse nuove mesofasi. In questi nuovi materiali, le particelle create dagli scienziati mostrano una peculiarità molto rilevante: esse interagiscono tra loro con forze che spesso non sono una semplice estensione, su una scala spaziale più grande, delle forze tra gli atomi, e in questo modo ampliano la gamma delle possibili proprietà dei materiali. L'obiettivo che gli scienziati intendono raggiungere è costruire materiali con le proprietà macroscopiche volute, partendo da aggregati di particelle e dai modi in cui tali particelle interagiscono tra loro. Per raggiungere questo obiettivo è necessario un forte sforzo di modellizzazione, per imparare a predire dalla conoscenza delle interazioni tra i singoli costituenti della materia il comportamento collettivo del sistema e vice versa.

Negli ultimi anni, gli scienziati hanno cercato di estendere questa linea di



ricerca a particelle sempre più complesse e variegate. In analogia con quanto accade alle molecole che con le loro interazioni direzionali offrono la possibilità di produrre fasi condensate con proprietà ben diverse di quelle dei solidi costituiti da atomi, stanno tentando di creare "delle super-molecole" con interazioni controllabili, per produrre materiali sempre più sofisticati e capaci di modificare le loro proprietà macroscopiche

in seguito a cambiamenti nei parametri esterni (campi elettrici, temperature, proprietà chimico/fisiche dell'ambiente). Queste ricerche coinvolgono anche il Dipartimento di Fisica della Sapienza, ed in particolare il gruppo di ricercatori che si occupa di materia soffice è in prima linea in questo tipo di ricerche. Tra le ricerche recenti si segnala l'invenzione e lo studio teorico e sperimentale di nuove particelle costituite tutte di DNA. L'idea di base è quella di usare il DNA, estremamente importante per la biologia perché consente la trasmissione dei caratteri genetici, come molecola da usare per costruire materiali. Come illustrato in figura, queste particelle interamente costituite di oligomeri di DNA formano spontaneamente delle strutture a stella con numero programmabile di braccia, capaci di legarsi tra loro e formare un reticolo esteso. Il materiale risultante è fluido ad alte temperature ma forma un gel a bassa temperatura.

## Fisica e Beni Culturali

I Beni Culturali comprendono un enorme numero di manufatti - libri, sculture, affreschi, mosaici, vasi, edifici - realizzati con i materiali più diversi (pigmenti pittorici, carta o legno). La fisica, specialmente la fisica della materia e quella delle particelle elementari, negli ultimi anni ha imparato a utilizzare su questi materiali il patrimonio di metodologie sperimentali che per decenni ha utilizzato nello studio di atomi, molecole e cristalli. Tecniche utilizzate nel nostro Dipartimento sono basate sull'uso di radiazione THz, infrarossa e visibile per imaging multispettrale delle opere e per individuazione chimica dei materiali usati. Inoltre, si sono sviluppati sistemi di imaging digitale sia nella regione di Terahertz che nel medio infrarosso. Le informazioni ottenute sono spesso cruciali per lo studio della genesi dell'opera d'arte e per la sua conservazione. Negli ultimi anni la ricerca in ambito dei Beni Culturali è stata dedicata particolarmente allo studio di pergamene medievali a manoscritti di epoche recenti su carta, combinando Terahertz imaging, spettroscopia infrarossa, spettroscopia Raman e

Fluorescenza a raggi X (XRF). L'analisi di codici miniati è una delle applicazioni più diffuse delle tecniche di spettroscopia ed imaging. In queste pergamene, riflettometria ed imaging nel THz e nell'infrarosso consentono di individuare all'interno dell'opera i materiali di origine metallica (lamine d'oro e/o argento) e di evidenziare i tratti di disegno e di testo nascosti. Inoltre, la spettroscopia nel visibile e nel medio infrarosso, unita all'analisi XRF, fornisce informazioni sulla composizione molecolare dei pigmenti e degli inchiostri.

L'insieme dei dati spettroscopici offre una lettura dell'opera complementare a quella filologica-artistica, fornendo allo stesso tempo una più certa individuazione delle scuole artistiche, la diagnostica dello stato di conservazione e le strategie per il recupero. In questo Dipartimento, viene portato avanti uno studio di codici datati tra Trecento e Quattrocento rintracciati in biblioteche private, contenenti miniature mai studiate finora. Questa ricerca è in collaborazione con il Dipartimento di Scienze di Base Applicate per l'Ingegneria ed il Dipartimento di Scienze Documentarie, Linguistico-Filologiche e Geografiche



## Fisica dei biosistemi

La complessità insita dei sistemi biologici rende lo studio della fisica di questi sistemi una sfida intrinsecamente difficile ed affascinante. E' altresì vero che l'approccio quantitativo ai problemi biologici, proprio della fisica e dei suoi strumenti concettuali e concreti, sta portando enormi contributi alla soluzione dei problemi posti dalla biologia moderna. L'approccio "fisico" allo studio dei sistemi viventi, la fisica dei biosistemi, è un campo di ricerca che per le sue molte sovrapposizioni con la biochimica, la biologia molecolare, le nanoscienze, la bioingegneria, la biologia dei sistemi, eccetera, è connotato da una forte "vocazione" interdisciplinare. Una delle sfide importanti nella fisica dei biosistemi è la caratterizzazione, con metodi teorico/concettuali, sperimentali e computazionali, dei comportamenti delle biomolecole, delle loro interazioni e dei loro meccanismi di regolazione, il tutto inquadrato e studiato con le tecniche proprie della meccanica statistica, della spettroscopia e della microscopia.

Ogni organismo vivente possiede delle istruzioni, nei geni che sono "scritti" nel suo genoma, che gli permettono di "costruire" le molecole che gli occorrono per vivere, muoversi, moltiplicarsi, difendersi da attacchi esterni. Occorre identificarle tutte, ma non basta perché queste molecole quasi sempre agiscono di concerto e sono presenti o assenti in tempi e in cellule diverse.

Dobbiamo quindi anche comprendere come esse cooperano per dare origine alla vita con il fine ultimo di comprendere come funziona un sistema vivente. Sappiamo ormai che la complessità di un sistema biologico non è legata al numero dei suoi componenti (l'uomo e il riccio di mare hanno pressoché lo stesso numero di geni ma ben diversa complessità), bensì a sofisticati meccanismi di interazione e influenza reciproca, che danno origine ai complessi *network* biochimici soggiacenti alla funzionalità dei sistemi biologici.

Un contributo fondamentale della fisica in campo biologico è rappresentato dallo sviluppo di nuove e più sofisticate tecniche di indagine e di diagnostica, basti pensare alle nuove microscopie a superrisoluzione (per esempio le microscopie PALM e STORM, l'importanza della cui introduzione è stata di recente riconosciuta con il premio Nobel, la microscopia a luce strutturata, oppure la neonata microscopia Brillouin che ha rilanciato gli studi di biomeccanica). In questo ambito trovano sempre più spazio metodologie di analisi dati e immagini che hanno un lungo trascorso in altri settori della fisica (per esempio l'utilizzo del *machine learning* e delle reti neurali sono alla base dei moderni algoritmi di trattamento delle immagini raccolte).

Altro tema di grandissima attualità è quello dello studio dei processi collettivi di aggregazione spontanea (*self-assembly*) di molecole, che portano alla formazione delle complesse strutture biologiche (come quelle riportate in figura alla pagina precedente).

Ad esempio, è per aggregazione spontanea di numerosissime molecole assai più piccole delle proteine, i lipidi, che si forma la struttura principale delle membrane cellulari, la "matrice lipidica". È in questa matrice che si inseriscono proteine ed altre macromolecole, fino a formare quelle strutture flessibili e dalle complesse proprietà funzionali che sono le membrane.

Anche i "motori molecolari" sono formati da proteine che si aggregano formando delle "macchine" nanoscopiche, capaci di convertire energia chimica in energia meccanica. Ad esempio, la proteina kinesina, è in grado di muoversi sui filamenti proteici (microtubuli) che costituiscono lo "scheletro" della cellula, trasportando "carichi" da un punto all'altro della cellula in maniera molto più efficiente di quanto avverrebbe per diffusione. L'osservazione delle straordinarie strutture generate dall'organizzazione spontanea di molecole relativamente semplici, spinge la ricerca verso lo studio dei meccanismi di "*self-assembly*" anche per ottenere materiali e "nanomacchine" artificiali per applicazioni innovative. Le straordinarie caratteristiche di certi materiali naturali derivano infatti dalla loro struttura su scala molecolare: ad esempio, la sorprendente resistenza meccanica delle conchiglie, composte di calcare, duro ma fragile, e di flessibili fibre proteiche.

## Supercalcolatori

La simulazione numerica rappresenta uno strumento fondamentale per le ricerche di base dei gruppi teorici e sperimentali. In ambito INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) sono tradizionalmente attive comunità scientifiche che utilizzano supercalcolatori per lo studio numerico delle interazioni forti (LQCD, Lattice Quantum Chromo Dynamics), di problemi di Meccanica Statistica, della dinamica dei fluidi in regime turbolento, della biologia computazionale nonché delle simulazioni di reti neurali.

Nel corso degli ultimi trenta anni, nel solco della tradizione che trae origine da un suggerimento di Enrico Fermi, l'INFN attraverso il progetto APE (<https://apegate.roma1.infn.it/>) ha sviluppato nel nostro Dipartimento diverse generazioni di macchine di calcolo parallelo ottimizzate e specializzate per le simulazioni di problemi scientifici ed ingegneristici.



Le caratteristiche architettoniche dei sistemi APE hanno, di fatto, costituito un vero e proprio paradigma, rivelatosi vincente nel campo del calcolo parallelo a elevate prestazioni, e che oggi si trovano implementate nei supercomputer commerciali di ultima generazione. Come esempio citiamo apeNEXT, l'ultima generazione di sistemi APE "custom", costituita da un insieme di supercomputer installati all'Università di Roma "La Sapienza" ed il progetto apeNET, che realizza sistemi di calcolo basati su PC Clusters commerciali con reti dedicate di derivazione APE, implementate su componenti programmabili (FPGA) e accelerati attraverso l'adozione di GPU (Graphic Processing Unit). Come diretto follow-up tecnologico si segnalano i progetti NaNet, dove l'architettura basata su apeNET viene applicata al read-out dei detectors ed al trigger computing degli esperimenti di alte energie al CERN e la network d'interconnessione dei sistemi ExaNeSt ed EuroEXA, prototipo di supercalcolatori ExaScale Europei di futura introduzione. Il gruppo di ricerca contribuisce inoltre alle attività tecnologiche e scientifiche del progetto flagship EU H2020 HBP (Human Brain Project) dove, tra l'altro, esplora il disegno di interconnessioni ottimizzate per le simulazioni di reti neurali "spiking" a larga scala.

Infine, non bisogna dimenticare come questa iniziativa abbia permesso la formazione di alcune decine di ricercatori, attivi in ambito accademico ed industriale, specializzati nella progettazione di hardware, software di sistema e ottimizzazione di software applicativo, un'esperienza unica e strategica nel panorama italiano e di grande valore scientifico e tecnologico a livello europeo.

**Collaborazioni**  
Principali Istituzioni  
Laboratori Nazionali  
e Internazionali

**SLAC**  
Stanford Linear Accelerator Center

**INFN**  
Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

**CERN**  
European Organization for  
Nuclear Research

**Fermi National Accelerator Laboratory**

**DESY**  
Deutsches Elektronen-Synchrotron

**Laboratoire de l'accélérateur Linéaire**

**Consiglio Nazionale delle Ricerche**



**European Synchrotron Radiation Facility**



**Elettra Synchrotron Light Source**



**European Space Agency**



**Agenzia Spaziale Italiana**



**INAF**  
Istituto Nazionale di Astrofisica



**European Southern Observatory**

## I protagonisti

I due edifici in cui è diviso il Dipartimento (Marconi e Fermi), alcune aule (Amaldi, Cabibbo, Conversi, Rasetti, Majorana, Careri, Baroni, Mortara), alette (Corbino, Persico, Touschek) e laboratori (Pontecorvo, Segrè) sono intitolati a importanti protagonisti e protagoniste della storia della fisica italiana docenti e ricercatori nell'Istituto di Fisica romano. Di seguito trovate alcune brevi note biografiche su alcuni di questi personaggi, e su altri, tra cui Pietro Blaserna, primo direttore del nuovo Istituto di Fisica di via Panisperna, da lui fondato dopo che Roma divenne capitale dello Stato italiano nel 1870.

### chi erano

#### Edoardo Amaldi

(Carpaneto Piacentino 1908 - Roma 1989)

Laureatosi nel 1929 a Roma nel gruppo Fermi, collaborò alle fondamentali ricerche sulla fisica del neutrone (radioattività indotta, neutroni lenti).



Passò vari soggiorni all'estero: nel 1931, a Lipsia da Peter Debye a studiare la diffrazione dei raggi X nei liquidi; nel 1934 al Cavendish Laboratory di Cambridge, e nel 1936, alla Columbia University a New York e presso il Dipartimento di Magnetismo terrestre della Carnegie Institution, a Washington D.C. Dal 1937 ricoprì la cattedra di Fisica Sperimentale a Roma. Nel dopoguerra ha svolto un ruolo determinante nella costituzione in Italia dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN, del quale sarà presidente dal 1960 al 1965) e in Europa, a Ginevra, del Conseil Eu-

ropéen pour la Recherche Nucléaire (CERN, 1952). Figura chiave nella politica della ricerca in Italia, è stato uno dei principali protagonisti nella nascita dei Laboratori nazionali di Frascati, nei progetti spaziali ESRO (organizzazione nata nel 1962 per dare poi vita all'ESA), nella politica energetica.

Ha dato notevoli contributi anche allo studio delle particelle elementari (nei raggi cosmici e con l'impiego di macchine acceleratrici) e ha infine promosso, dal 1971, la ricerca delle onde gravitazionali.

Il suo impegno per il disarmo fu costante e attivo: aderì al movimento pacifista Pugwash dall'anno della sua costituzione, nel 1957.

Dal 1966 fu presidente della International School on Disarmament and Research on Conflicts (ISODARCO).



### Pietro Blaserna

(Fiumicello in Aquileja 1836 - Roma 1918) Assistente di Andreas von Ettingshausen, direttore dell'Istituto di Fisica di Vienna, perfezionò la sua formazione di fisica sperimentale alla Sorbonne di Parigi, nel laboratorio di Regnault.

Tornato in Italia, nel 1862 ottenne un incarico presso l'Istituto Superiore di Firenze e un anno dopo fu chiamato a ricoprire la cattedra di Fisica nell'Università di Palermo. Nel 1872 venne trasferito

a Roma, all'Università La Sapienza, sulla cattedra di Fisica Sperimentale e l'anno dopo venne nominato direttore dell'Istituto Fisico, carica che manterrà fino al 1918. Il contributo maggiore dato da Blaserna alla creazione della scuola di fisica di Roma fu la progettazione dell'Istituto Fisico di via Panisperna, dove l'Istituto si trasferì nel 1881. Presidente del Consiglio Direttivo di Meteorologia e del Servizio Geodinamico, fu nominato senatore del Regno nel 1890 e vicepresidente del Senato nel 1904; ricoprì nello stesso anno la carica di Presidente della Reale Accademia dei Lincei.



### Nicola Cabibbo

(Roma 1935 - Roma 2010)

L'Università di Roma "La Sapienza" ha avuto il privilegio di annoverare tra i suoi docenti Nicola Cabibbo, insigne Fisico Teorico che ha dato il suo nome ad una delle costanti fondamentali che descrivono le Interazioni deboli, nota come l'angolo di Cabibbo.

Questa scoperta, avvenuta nel 1963, ha esteso la teoria, originariamente proposta da Fermi nel 1933 per descrivere il decadimento beta nucleare, ai

decadimenti di particelle strane, aprendo così la strada alla formulazione del Modello Standard. Dal 1966 Nicola Cabibbo è stato professore a Roma, dove ha formato una scuola di fisici teorici che ha avuto un forte impatto sullo sviluppo della Fisica delle interazioni fondamentali. Tra i risultati più importanti possiamo ricordare la teoria dell'annichilazione adronica di  $e^+e^-$ , il calcolo delle correzioni radiative elettrodeboli al momento magnetico del muone, lo studio del decadimento beta di quark pesanti, la previsione dell'esistenza di una transizione di fase di deconfinamento nella materia adronica, la proposta di utilizzare calcoli numerici non perturbativi su reticolo allo studio delle interazioni deboli, il calcolo di limiti per la massa del bosone di Higgs in una teoria di grande unificazione. Insieme a Giorgio Parisi, Cabibbo ha anche ideato e realizzato un supercomputer parallelo dedicato a studi non perturbativi di QCD regolarizzata su un reticolo. Nicola Cabibbo ha anche avuto grande influenza sulla politica scientifica ed è stato Presidente

dell'INFN (1983-1992) e dell'ENEA (1993-1998). A riconoscimento dei suoi meriti scientifici Nicola Cabibbo ha ricevuto vari importanti premi tra i quali il Premio della Società Europea di Fisica (1991), il Premio Sakurai della American Physical Society (1989) e la Medaglia Dirac dell'ICTP (2010).



### Marcello Conversi

(Tivoli 1919 - Roma 1988)

Laureatosi in fisica a Roma nel 1940, ha insegnato Fisica superiore presso le Università di Pisa e di Roma. Tra il 1950 e il 1958 diresse l'Istituto Fisico dell'Università di Pisa, tra il 1960 e il 1966 quello dell'Università di Roma. Durante gli anni di guerra, insieme a E. Pancinie, O. Piccioni, condusse presso l'Istituto di Fisica G. Marconi di Roma una serie di fondamentali esperimenti, che dimostravano che il mesotrone

non era la particella prevista da Yukawa ma un leptone pesante, denominato poi muone. Nel 1955, a Pisa, insieme ad A. Gozzini, realizzò il primo rivelatore "a camera a scintilla". Sempre a Pisa diresse il progetto per la realizzazione di un avanzato centro di calcolo elettronico.



### Orso Mario Corbino

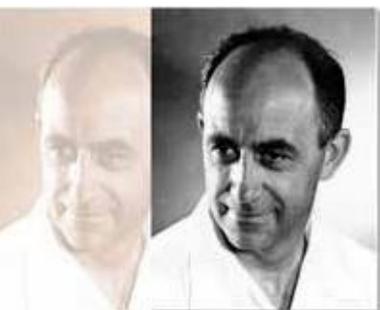
(Augusta, 1876 - Roma 1937)

Nato ad Augusta, in provincia di Siracusa, da una modesta famiglia di artigiani pastai, si laureò in fisica a soli 20 anni presso l'Università di Palermo, dove divenne in seguito assistente di Damiano Macaluso. Nel 1904 vinse la cattedra di Fisica sperimentale all'Università di Messina. Nel 1908 si trasferì a Roma, chiamato da Blaserna per succedere ad Alfonso Sella sulla cattedra di

Fisica complementare. Morto Blaserna, nel 1918 gli succedette alla direzione dell'Istituto Fisico e alla cattedra di Fisica sperimentale. Ricoprì importanti cariche amministrative e politiche: nel 1917 venne nominato Presidente del Consiglio Superiore delle acque e dei Lavori Pubblici, senatore del Regno su proposta di Giovanni Giolitti nel 1920, ministro della Pubblica Istruzione nel 1921 nel governo Bonomi, ministro dell'Economia Nazionale nel 1923-24. Fu anche Presidente della Compagnia Generale di Elettricità, della Società Meridionale di Elettricità e della Commissione per le direttive artistiche e la vigilanza tecnica delle radiodiffusioni. In ambito accademico, fu socio nazionale dei Lincei, Presidente della Società Italiana delle

Scienze, detta dei XL (1914- 1919), Presidente della Società Italiana di Fisica. Fece istituire a Roma la prima cattedra di Fisica teorica, sulla quale chiamò Fermi nel 1926, e la cattedra di Spettroscopia sulla quale chiamò Franco Rasetti nel 1930. Scopri l' "effetto Corbino" (1918-22), una variante dell'effetto Hall. Studiò in modo approfondito e definitivo la teoria della pila elettrica (1927). Diede numerosi contributi in elettrotecnica e nella nascente elettronica.

In fotoelasticità, verificò la teoria di Volterra delle distorsioni elastiche e fu un pioniere nelle applicazioni pratiche dell'analisi degli stress nei materiali. Nel 1936 fondò l'Istituto di Elettroacustica del CNR a via Panisperna.



### Enrico Fermi

(Roma 1901 - Chicago 1954)

Praticamente autodidatta, nel 1918 entrò alla Scuola normale superiore di Pisa per frequentare il corso di fisica. Anche durante il periodo universitario studiò in modo autonomo la fisica relativistica e la fisica quantistica, divenendo ben presto un'autorità nel settore non solo nell'ateneo pisano ma anche nel resto d'Italia dove le resistenze verso la "nuova fisica" erano

forti. Laureatosi nel luglio del 1922, trascorse alcuni periodi di studio nel 1923 in Germania, a Gottinga presso M. Born, e nel 1924 in Olanda, a Leida presso P. Ehrenfest. Alla fine del 1925 formulò una nuova statistica (oggi detta di Fermi-Dirac) per le particelle a spin semintero (elettroni, protoni, neutroni, oggi dette fermioni). Ha ricoperto nel 1926 la prima cattedra di Fisica teorica in Italia, fatta istituire appositamente per Fermi da Corbino all'Università La Sapienza. Trasferitosi nell'autunno del 1926, a Roma nell'Istituto di Via Panisperna, creò intorno a sé un gruppo di collaboratori: il primo fu Rasetti, al quale si aggiunsero E. Segré, E. Amaldi, B. Pontecorvo. Saltuariamente, e solo per quanto riguardava i problemi teorici, partecipava ai lavori del gruppo anche E. Majorana. Ha dato numerosi contributi di primissimo ordine alla fisica teorica, tra i quali il più importante è la teoria del decadimento beta, formulata alla fine del 1933 e da considerare l'atto di nascita della moderna fisica teorica delle particelle elementari. Dopo che, nel gennaio del 1934, I. Curie e F. Joliot annunciarono a Parigi di aver osservato la radioattività artificiale provocata da particelle alfa in elementi leggeri (boro, alluminio e magnesio), Fermi pensò che il modo migliore per produrla dovesse consistere nell'impiegare come proiettili i neutroni (scoperti solo due anni prima da J. Chadwick) che

essendo elettricamente neutri non subiscono la repulsione coulombiana del nucleo. In breve tempo Fermi, in collaborazione con Rasetti, Segré, Amaldi, il chimico O. D'Agostino, ai quali si era aggiunto il neolaureato Pontecorvo, ne iniziò uno studio sistematico con esiti positivi. Fermi e collaboratori scoprirono inoltre che per urti successivi contro i nuclei dell'idrogeno di un materiale idrogenato i neutroni vengono notevolmente rallentati e che i neutroni lenti così prodotti sono fino a cento volte più efficaci dei neutroni veloci nel produrre le reazioni nucleari con emissione gamma. Fermi formulò in questo periodo la teoria del rallentamento dei neutroni che conteneva molte delle idee che saranno alla base della teoria dei reattori nucleari. Per le ricerche sulla fisica nucleare del gruppo diretto da Fermi all'Istituto di fisica di via Panisperna negli anni Trenta gli venne conferito nel 1938 il premio Nobel per la fisica. Alla fine dello stesso anno, poco dopo la promulgazione in Italia delle leggi razziali (suamoglie, Laura Capon, era ebrea), emigrò negli USA. A Chicago ha realizzato il primo reattore nucleare a fissione, che iniziò a funzionare il 2 dicembre del 1942. Fermi è stato uno dei principali protagonisti del lavoro scientifico che ha portato a Los Alamos alla realizzazione della bomba a fissione.

Dopo la guerra è stato professore all'Università di Chicago, occupandosi di vari problemi di fisica fondamentale, e svolgendo attività di consulenza scientifica per il governo degli Stati Uniti.

### Ettore Majorana

(Catania 1906 - scomparso nel 1938)

Dopo essersi iscritto a Ingegneria a Roma nel 1923, passò a Fisica nel 1928, dove si laureò nel luglio dell'anno successivo sotto la guida di Fermi, con una tesi su "La teoria quantistica dei nuclei radioattivi". Negli anni seguenti pubblicò alcuni contributi di fisica atomica e molecolare e conseguì la libera docenza in fisica teorica nel novembre del 1932. Si dedicò poi a una serie di lavori fondamentali che segnano la nascita della



fisica teorica dei nuclei e delle particelle elementari. Nel 1937, a più di dieci anni di distanza dal primo concorso di Fisica teorica del 1926, venne bandito un altro concorso richiesto dall'università di Palermo. Majorana concorse tra altri candidati ma di fronte alla sua evidente superiorità la commissione, presieduta da Fermi, non essendo in grado di applicare nel suo caso la

procedura normale dei concorsi universitari, chiese al ministro dell'Educazione Nazionale Giuseppe Bottai, di ricorrere a una legge, già invocata per Guglielmo Marconi, che attribuisse al giovane fisico teorico una cattedra fuoriconcorso. Majorana vincerà "per chiara fama", nel novembre del 1937, la cattedra di Fisica teorica all'Università di Napoli.

Dopo avere preso servizio nella nuova sede e avere iniziato le lezioni scomparve misteriosamente il 26 marzo del 1938, dopo un viaggio in nave che da Napoli lo portava a Palermo. Nonostante le molte ricerche e le molte congetture sulla sua fine, nulla si è riuscito a sapere di certo. Un commento sulla personalità scientifica di Ettore, fatto da Fermi a Giuseppe Cocconi subito dopo la notizia della sua scomparsa, e da questi raccontato in una lettera a E. Amaldi del 1965, riassume la figura di questo "genio senza buonsenso": per Fermi ci sono varie categorie di scienziati, di primo, secondo e terzo rango, "ma poi ci sono i geni, come Galileo e Newton. Ebbene, Ettore era uno di quelli. Majorana aveva quel che nessun altro al mondo ha; sfortunatamente gli mancava quel che invece è comune trovare negli altri uomini, il buon senso".

### Guglielmo Marconi

(Bologna 1874 - Roma 1937)

Dopo il celebre "esperimento della collina" (Pontecchio, 1895), in cui Marconi riuscì a realizzare un sistema di trasmissione e ricezione di onde elettromagnetiche a grande distanza, si trasferì in Inghilterra perché convinto che la sua invenzione potesse trovare in quel paese un terreno più favorevole. Nel 1897 ottenne il suo primo brevetto sui "Perfezionamenti nella

trasmissione degli impulsi e degli apparecchi relativi" e nello stesso anno venne costituita la Wireless Telegraph and Signal Co. Ltd. (dal 1900, Marconi's Wireless Telegraph Co. Ltd) con la facoltà di impiegare i brevetti in tutto il mondo. Nel dicembre 1901 Marconi riuscì a effettuare il primo collegamento interoceanico tra Poldhu, in Cornovaglia, e St. John's in Terranova. Nel 1909, primo italiano insignito dell'alto riconoscimento, condivise con K. F. Braun il premio Nobel per la fisica.

Nel 1914 fu nominato Senatore del Regno d'Italia. Nel 1928 divenne presidente del CNR; nel 1930, presidente della Reale Accademia d'Italia.

Nello stesso anno iniziò la progettazione della Radio Vaticana a onde corte, inaugurata da papa Pio XI nel 1931.

Per l'occasione, Marconi fu nominato Accademico Pontificio e gli fu conferita la Gran Croce dell'Ordine di Pio IX. Nel 1932 gli venne assegnata a Londra, da Lord Rutherford, la Kelvin Medal e venne eletto membro della National Academy of Sciences di Washington. Socio nazionale dei Lincei nel 1931 e presidente dell'Istituto della Enciclopedia Italiana nel 1933. Nominato professore di Onde elettromagnetiche nella Regia Università di Roma nel 1935, Marconi non insegnò mai nell'Istituto di Fisica romano che dopo la sua morte si chiamerà Istituto di Fisica "Guglielmo Marconi".



### Enrico Persico

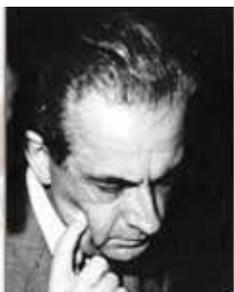
(Roma 1900 - 1969)

Amico e compagno di studi di Fermi, si laureò in fisica a Roma nel 1921 per poi divenire assistente di Corbino dal 1922 al 1927.

Nel 1926 vinse la cattedra di Fisica teorica presso l'Istituto di Fisica di Arcetri a Firenze, dove contribuì alla formazione di un gruppo di giovani fisici, tra i quali Bruno Rossi, Gilberto Bernardini, Giuseppe Occhialini, Giulio Racah.

Nel 1930 passò a insegnare a Torino.

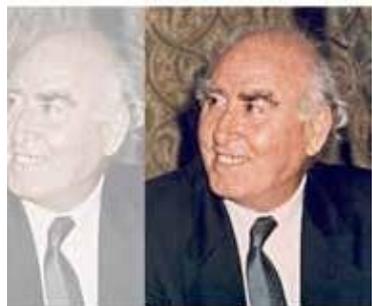
Nel 1947 si trasferì all'università Laval a Québec, in Canada, per ricoprire il posto lasciato vacante da Rasetti, per tornare a Roma nel 1950 a ricoprire la cattedra di Fisica superiore. Dal 1953 ha diretto la sezione teorica dell'INFN lavorando alla progettazione di componenti di acceleratori, e in particolare ai sistemi di iniezione di particelle cariche. Nel 1958, sempre a Roma, passò a insegnare Fisica teorica. Oltre ai contributi rilevanti dati alla fisica teorica rivestì, insieme a Fermi, un ruolo fondamentale nella diffusione di questo settore di ricerca in Italia.



### Bruno Pontecorvo

(Pisa 1913 – Dubna 1993)

Laureatosi nel 1934 con E. Fermi, collaborò alle fondamentali ricerche sulle proprietà dei neutroni lenti. Si trasferì poco dopo a Parigi da F. Joliot all'Institut du radium, ottenendo notevoli risultati nel campo della fisica nucleare, e quindi (1940) negli Stati Uniti dove mise a punto un metodo di carotaggio neutronico. Nel 1943 partecipò alla realizzazione del primo reattore nucleare canadese; nel 1948 assunse una delle direzioni tecniche dei Laboratori atomici inglesi di Harwell; nel 1950 si trasferì in URSS presso l'Istituto nucleare di Dubna (Mosca). Fondamentali furono i suoi contributi alla fisica dei neutrini: ipotizzò l'esistenza di due tipi di neutrini (neutrino-e e neutrino-m) suggerendo il modo di evidenziarli sperimentalmente; ideò il metodo cloro-argon per rivelare i neutrini; svolse importanti studi sulla massa dei neutrini e sulle loro "oscillazioni".



### Giorgio Salvini

(Milano 1920 – Roma 2015)

Laureatosi a Milano nel 1942, ha iniziato la sua attività di ricerca studiando i raggi cosmici estesi prima in Italia e poi alla Princeton University. Tornato in Italia nel 1951 ha insegnato nelle Università di Cagliari, Pisa e infine dal 1955 alla "Sapienza" di Roma dove è stato docente di Fisica Generale fino al 1990. Nel 1953 gli è stata affidata la direzione del Progetto nazionale per la costruzione a Frascati di un elettrosincrotrone da 1.100 MeV, acceleratore di punta in quegli anni. Un'impresa che Salvini ha portato al successo guidando un gruppo di brillanti giovani laureati scelti da varie Università italiane. L'impresa ha dato vita ai Laboratori Nazionali di Frascati dell'INFN e segnato "la via italiana alle alte energie". È stato l'inizio di una scuola di fisica degli acceleratori, che ha visto come pietra miliare la nascita a Frascati dei collider elettrone-positrone e la costruzione del collider e-e ADONE. Ha diretto i Laboratori di Frascati fino al 1960. Nel 1977 ha iniziato a lavorare alla progettazione e alla realizzazione di un esperimento al collider protone-antiprotone del CERN che nel 1983 ha osservato i bosoni intermedi W e Z. Per questa scoperta nel 1984 a Carlo Rubbia è stato assegnato il Premio Nobel. Giorgio Salvini con Edoardo Amaldi è stato uno dei protagonisti della rinascita della fisica italiana nel dopoguerra.



### Emilio Segrè

(Tivoli 1905 – Lafayette, California, 1989)  
Laureatosi a Roma nel gruppo Fermi, collaborò alle fondamentali ricerche sulla fisica del neutrone (radioattività indotta, neutroni lenti). Dal 1936 al 1938 fu professore presso l'Università di Palermo, dove isolò il tecnezio, il primo elemento artificiale. Rifugiatosi a causa delle leggi razziali negli Stati Uniti (dove prese la cittadinanza nel 1944), partecipò al progetto

Manhattan per la realizzazione delle prime armi nucleari. Nel dopoguerra le sue ricerche riguardarono problemi di fisica nucleare e di fisica delle particelle elementari. Nel 1955, con O. Chamberlain, scoprì l'antiprotone tra i prodotti dell'interazione protone-nucleone ad altissima energia; per questa scoperta gli fu conferito il premio Nobel per la fisica.



### Bruno Touschek

(Vienna 1921 – Innsbruck 1978)

Costretto ad abbandonare l'Austria perché ebreo, nel 1940 si trasferì in Germania dove nel 1943 fu catturato dalla Gestapo. Fuggito nel 1945, riuscì a conseguire la laurea in fisica a Gottinga nel 1946, e successivamente (1949) il PhD a Glasgow.

Nel 1954 si trasferì a Roma dove insegnò, presso l'Istituto di Fisica, Metodi matematici della fisica. A lui si deve l'ideazione e la realizzazione, presso i Laboratori nazionali di Frascati, del primo anello di accumulazione a fasci collidenti per elettroni e positroni, ADA. Presso ADA furono osservate le prime collisioni elettrone-positrone ad alta energia nel riferimento del centro di massa e dimostrata la possibilità di realizzare anelli più potenti. Socio straniero dei Lincei dal 1972.

## I protagonisti oggi

### chi siamo

La tradizione di eccellenza scientifica, legata a nomi prestigiosi quali quelli che vi abbiamo presentato, è stata tenuta in vita dai loro successori e continua tutt'oggi nella presenza e nella attività dei ricercatori del Dipartimento con importanti contributi in vari campi della fisica, contribuendo alla elevata reputazione internazionale del nostro Dipartimento. Alcuni dei nostri docenti hanno inoltre ricoperto o ricoprono prestigiose cariche istituzionali nel mondo della ricerca.

Nel 2021 il premio Nobel per la Fisica è stato assegnato a **Giorgio Parisi**, professore emerito del nostro Dipartimento, che per anni ha insegnato e ha svolto la sua attività di ricerca di altissimo profilo e rilievo internazionale nel nostro Dipartimento. Oggi un buon numero dei suoi allievi sono docenti nei nostri corsi di laurea.

Il Dipartimento ospita 36 laboratori con numerose competenze, tra le quali ricordiamo quelle in Fisica delle Particelle, Astrofisica, Fisica Computazionale, Fisica della Materia, Fotonica classica e quantistica.

Il Dipartimento si qualifica in posizioni elevate di diverse graduatorie internazionali. Secondo la classifica internazionale Academic Ranking of World Universities 2022, pubblicata dall'Università di Shanghai, il nostro Dipartimento si colloca al 36-imo posto al mondo ed al primo in Italia. Anche nel 2022, come nel 2018 il Dipartimento di Fisica è stato selezionato dal MIUR come uno dei "Dipartimenti di Eccellenza" italiani.

L'elevata qualità della ricerca condotta dal nostro Dipartimento è testimoniata dai numerosi finanziamenti ottenuti mediante progetti, finanziati dall'Unione Europea, dal MIUR, da altri enti e fondazioni. Inoltre, l'Università Sapienza è il primo ateneo pubblico italiano per numero di finanziamenti da parte dell'European Research Council (ERC) e il Dipartimento di Fisica ospita attualmente 4 di questi progetti. Nei dieci anni di vita dell'ERC 18 grant hanno avuto come responsabile un membro del nostro Dipartimento.

Gli articoli scientifici pubblicati su prestigiose riviste internazionali sono circa 2000 nel triennio 2020-2022 e in particolare quelli su riviste con impact factor maggiore di 9 sono più di 70 nello stesso periodo.

Il Dipartimento ha organizzato un elevato numero di eventi internazionali, workshop e conferenze. Consistente è la presenza in comitati scientifici di nostri docenti e ricercatori.

Nel contesto della terza missione abbiamo ottenuto il riconoscimento come buona pratica del MIUR del progetto di Alternanza Scuola Lavoro del Dipartimento,

LAB2GO: [http://www.istruzione.it/alternanza/\\_RMPM12000L.html](http://www.istruzione.it/alternanza/_RMPM12000L.html)

## Il Museo del Dipartimento di Fisica

Al primo e al terzo piano del Nuovo Edificio Fermi, si trova il Museo di Fisica che documenta la storia di questa istituzione, della didattica e della ricerca che in essa venivano svolte fin dai tempi dell'antico palazzo della Sapienza, poi successivamente nella palazzina di via Panisperna oggi sede del Centro Fermi e, infine, alla Città universitaria.

Il Museo di Fisica fa parte del Polo Museale Sapienza. Molte informazioni sulle collezioni del museo sono reperibili al sito web all'indirizzo <https://web.uniroma1.it/polomuseale/museo-fisica>.

Il Museo accoglie visite da parte di studenti di ogni età, curiosi, appassionati e professionisti. L'accesso è gratuito e negli orari di apertura una guida è sempre disponibile a illustrare gli strumenti più interessanti ai visitatori. In particolare, le guide non si limitano a descrivere gli oggetti del passato in mostra, ma ne spiegano il funzionamento mettendoli a confronto con le tecnologie più moderne, evidenziando l'evoluzione delle tecnologie di misura.



Spesso, negli apparati più antichi dall'aspetto insolito per i giorni nostri, i principi fisici appaiono più evidenti, anche se con la strumentazione disponibile oggi è molto più facile ottenere risultati che nei tempi passati costavano molta fatica e impegno. In certi casi, durante le visite guidate, si eseguono esperimenti usando la strumentazione dell'epoca e strumenti moderni come gli smartphone, permettendo di apprezzare le geniali soluzioni adottate dai fisici del passato per ottenere le informazioni di cui avevano bisogno non disponendo delle attuali tecnologie.

Le collezioni vanno dal Settecento agli anni delle ricerche del gruppo dei "ragazzi di via Panisperna" e comprendono pezzi unici come l'Armonium di Pietro Blaserna o molto rari come l'apparecchio di De La Rive per lo studio delle aurore boreali. Fanno parte integrante della collezione del museo gli apparati originali usati da Enrico Fermi per la scoperta della radioattività artificiale indotta dai neutroni e il separatore di fascio dell'esperimento Virgo, esposti nei locali dell'edificio Marconi.



**STUDIARE FISICA ALLA SAPIENZA**

**INFORMAZIONI  
AGLI STUDENTI**



## Attività di Orientamento e Informazioni

Le attività di orientamento si rivolgono alle seguenti categorie di utenti:

- studenti delle scuole superiori e future matricole, per i quali sono organizzati degli incontri presso le scuole stesse, nel corso del loro ultimo anno di studi superiori contattare [giovanni.organtini@roma1.infn.it](mailto:giovanni.organtini@roma1.infn.it), tel. 06.4991.4329 e nell'ambito del Piano Lauree Scientifiche, contatti e dettagli in <https://www.phys.uniroma1.it/fisica/PLS>
- studenti delle precedenti categorie e studenti universitari, che desiderino informazioni sui corsi di studio in fisica  
[https://www.phys.uniroma1.it/fisica/didattica/corsi\\_lauree](https://www.phys.uniroma1.it/fisica/didattica/corsi_lauree) (sito del Dipartimento di Fisica) e <https://corsidilaurea.uniroma1.it/> (sito di Ateneo)  
**Segreteria didattica**, al piano terra dell'edificio Marconi [segreteriaDidatticaFisica@uniroma1.it](mailto:segreteriaDidatticaFisica@uniroma1.it)  
dott.ssa Sonia Riosa - stanza 007 - tel. 06.49914232 [sonia.riosa@uniroma1.it](mailto:sonia.riosa@uniroma1.it)  
dott. Marco Dante - stanza 005 - tel. 06.49914517 [marco.dante@uniroma1.it](mailto:marco.dante@uniroma1.it)  
[https://www.phys.uniroma1.it/fisica/segreteria\\_didattica](https://www.phys.uniroma1.it/fisica/segreteria_didattica)  
**Punto informativo studenti**- stanza 001a edificio Marconi [sort.fisica@uniroma1.it](mailto:sort.fisica@uniroma1.it) - tel. 06.49914233  
(orario sul sito: <https://www.phys.uniroma1.it/fisica/segreteriaeesportelli> )
- studenti, per informazioni di carattere amministrativo (formalità di iscrizione, tasse, borse di studio) : sito della Segreteria amministrativa studenti Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali: [sgrstudentscienzemmffnn@uniroma1.it](mailto:sgrstudentscienzemmffnn@uniroma1.it)  
<https://www.uniroma1.it/it/pagina/segreteria-studenti-di-scienze-matematiche-fisiche-e-naturali>  
per le prove di accesso e la immatricolazione alla laurea triennale si veda anche il paragrafo IMMATRICOLAZIONE, TRASFERIMENTI, RICONOSCIMENTI ESAMI nelle pagine seguenti.
- studenti, per informazioni sui servizi generali (es. la ristorazione) e i servizi a concorso (borse di studio, alloggi, corsi e progetti, ecc.): consultare il sito di Ateneo nelle pagine dedicate.



La struttura dell'insegnamento in fisica si articola in vari cicli:

### LAUREA

Il Dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza di Roma offre un corso di laurea di durata triennale, denominato **Fisica**.

Il corso è articolato in tre curricula, [Fisica](#), [Astrofisica](#), [Fisica Applicata](#).

La laurea fornisce una preparazione di base che consente:

- il proseguimento degli studi nelle Lauree Magistrali e nei master; tra le lauree Magistrali le più scelte dagli studenti sono la laurea magistrale in Fisica e quella in Astronomia e Astrofisica
- l'inserimento nel mondo del lavoro (per es. nei campi di Fisica e Ambiente, Elettronica, Calcolatori, Innovazione tecnologica, Astronomia, Astrofisica e Ricerca spaziale)

### LAUREE MAGISTRALI

Il Dipartimento di Fisica dell'Università La Sapienza di Roma offre due corsi di laurea magistrale entrambi di durata biennale:

[Fisica](#), [Astronomia e Astrofisica](#).

Essi consentono il proseguimento degli Studi, l'accesso ai dottorati di ricerca, l'inserimento nella ricerca fondamentale o applicata, nella promozione e lo sviluppo tecnologico, nelle attività professionali e di progetto correlate alle discipline fisiche (Industria, Ambiente, Sanità, Beni culturali e Pubblica amministrazione, Astronomia, Astrofisica e Ricerca spaziale), l'accesso ai percorsi attivati per l'insegnamento nella scuola secondaria di primo e secondo grado.

### DOTTORATI

Rappresentano il completamento della formazione del ricercatore; costituiscono un titolo indispensabile per l'accesso ai concorsi di Ricercatore nelle Università e negli Enti di Ricerca. Per ulteriori informazioni vedi le pagine seguenti e le informazioni in rete dedicate ai dottorati di ricerca:

<https://www.phys.uniroma1.it/fisica/node/5566>

### MODALITÀ DIDATTICHE

Le attività didattiche sono distribuite su base semestrale. Gli insegnamenti sono impartiti attraverso lezioni ed esercitazioni in aula o in laboratorio. L'orario delle attività è organizzato in modo da consentire allo studente un congruo tempo da dedicare allo studio personale.

La verifica dell'apprendimento si basa su prove scritte, che possono essere svolte in itinere e/o alla fine del corso, ed esami orali. I corsi di laboratorio prevedono una parte introduttiva ex-cathedra ed una parte svolta in laboratorio dagli studenti, suddivisi in piccoli gruppi, sotto la guida dei docenti; in questi casi la verifica dell'apprendimento si basa su relazioni di laboratorio, di gruppo o individuali, ed esami orali

La durata del corso di laurea triennale è di 6 semestri, pari a tre anni. La durata dei corsi di laurea magistrale è di 4 semestri, pari a due anni.

### CREDITI FORMATIVI UNIVERSITARI (CFU)

Il credito formativo universitario (CFU) misura la quantità di lavoro svolto da uno studente per raggiungere un obiettivo formativo. I CFU sono acquisiti dallo studente con il superamento degli esami.

Il sistema di crediti adottato nelle università italiane ed europee fa corrispondere ad un CFU 25 ore di impegno da parte dello studente:

- lezioni, esercitazioni, attività di laboratorio, che corrispondono a circa 8 ore di lezione, oppure a 12 ore di laboratorio o esercitazione guidata
- studio individuale, per la parte restante delle 25 ore.

Sul sito della didattica del Dipartimento sono riportate per ciascun corso la ripartizione dei CFU e delle ore di insegnamento, i prerequisiti, gli obiettivi formativi ed un programma di massima.

Il carico di lavoro totale per la laurea triennale è di 180 CFU, corrispondenti a 4500 ore di impegno complessivo da parte dello studente, mentre per le lauree magistrali è di 120 CFU, pari a 3000 ore di impegno.

### PERCORSO FORMATIVO

Il percorso formativo è l'elenco degli esami che lo studente intende sostenere (o ha già sostenuto), diviso per anni di corso e semestri. Esso può essere conforme ad uno degli schemi predisposti dal Consiglio di Area Didattica (percorso formativo curriculare, PFC) oppure liberamente ideato dallo studente che lo propone (percorso formativo individuale, PFI). Gli schemi dei PFC contengono opzioni ed esami a scelta, che lo studente è tenuto a specificare.

I PFI devono comunque rispettare i requisiti previsti nel Manifesto degli Studi. Sia i PFC, sia i PFI contengono 12 CFU a scelta dello studente, che possono essere scelti fra tutti i corsi della Sapienza.

La presentazione di un percorso formativo può essere effettuata, a partire dal secondo anno della laurea triennale, all'inizio di ogni anno accademico tramite la compilazione di un modulo editabile on-line. In ogni caso gli esami già verbalizzati non possono essere più sostituiti. L'approvazione è curata dal CAD ed è identica per PFC e PFI: in caso di parere negativo, lo studente è invitato a modificare il percorso. In assenza di un percorso formativo approvato lo studente può sostenere unicamente gli esami obbligatori, comuni a tutti i curricula del proprio corso di laurea. Gli studenti iscritti a Corsi di laurea triennale non possono sostenere esami di profitto degli insegnamenti dei corsi di Laurea Magistrale. Viceversa, gli studenti dei Corsi di Laurea Magistrale possono inserire esami dei corsi di laurea triennale nel proprio percorso formativo, solo dopo aver ricevuto apposita autorizzazione dal CAD.

### PROVE DI ESAME

La verifica delle conoscenze avviene mediante prove di esame. La maggioranza degli esami si conclude con una prova orale, alla quale si accede superando una prova scritta o una prova individuale di laboratorio, oppure sostenendo con esito positivo le prove in itinere. La valutazione del profitto viene espressa mediante l'attribuzione di un voto in trentesimi, oppure mediante un giudizio di idoneità. In caso di voto numerico, il punteggio minimo per il superamento dell'esame è 18/30.

### FREQUENZA, PROPEDEUTICITÀ, PASSAGGIO AD ANNI SUCCESSIVI

I principali corsi sono erogati in più canali. Le modalità di attribuzione degli studenti ai canali sono riportate nelle pagine dei corsi di Laurea.

La frequenza assidua a tutti i corsi è una condizione essenziale per una proficua fruizione della didattica ed è pertanto vivamente consigliata. La frequenza alle esercitazioni di laboratorio è obbligatoria.

Non sono previste propedeuticità formali, salvo per i corsi di laboratorio della magistrale. La collocazione degli insegnamenti nel percorso formativo è però una chiara indicazione dell'ordine ottimale con il quale seguire i corsi e sostenere gli esami. Nel caso in cui lo studente non superi un esame non avrà sbarramenti amministrativi al superamento degli esami successivi; egli dovrà programmare il recupero dell'esame non superato in modo da non produrre uno sfasamento tra corsi seguiti ed esami da preparare.

### REGIME A TEMPO PARZIALE

Le modalità per la richiesta del regime a tempo parziale sono stabilite nel Manifesto di Ateneo e sono consultabili sul sito della Sapienza.

### CALENDARIO DIDATTICO

Le date di inizio e fine delle lezioni di ciascun semestre e di inizio e fine di ciascuna sessione d'esami sono pubblicate sul sito dei Corsi di laurea.

Di norma la scansione temporale dei corsi è la seguente:

- primo semestre: da fine settembre a gennaio
- prima sessione d'esami: gennaio/febbraio
- secondo semestre: da fine febbraio a giugno
- seconda sessione d'esami: giugno/luglio
- terza sessione d'esami: settembre

A titolo di esempio, l'orario settimanale del primo anno della laurea triennale in Fisica prevede tipicamente:

- 3 o 4 ore di lezione al giorno dal lunedì al venerdì
- 4 ore di laboratorio a settimana.

I periodi dedicati alle lezioni e agli esami non possono sovrapporsi. In deroga a tale norma, per permettere agli studenti prossimi alla laurea e a quelli fuoricorso (ed assimilati) di completare gli esami mancanti, sono previsti due appelli straordinari a loro riservati, di norma nei mesi di maggio e di novembre.

### PERCORSI DI ECCELLENZA

Il CAD bandisce ogni anno un Percorso di eccellenza per ognuno dei Corsi di Laurea, con bandi reperibili sul sito del Dipartimento. Lo scopo dei percorsi di eccellenza è quello di valorizzare la formazione degli studenti meritevoli e interessati ad attività di approfondimento e di integrazione culturale.

### TUTORATO

I corsi di Laurea provvedono a fornire agli studenti Docenti e Tutor di riferimento, che sono a disposizione degli studenti per informazioni e consigli. I loro nominativi e contatti sono disponibili sul sito della didattica del Dipartimento e sulle pagine dei corsi di laurea di Ateneo.

Il corso di laurea in Fisica (classe L-30, Scienze e Tecnologie Fisiche) è articolato in tre curricula: [Fisica](#), [Astrofisica](#), [Fisica Applicata](#).

Gli obiettivi formativi specifici sono volti a fornire una preparazione di base sia per l'inserimento nel mondo del lavoro, sia per la prosecuzione degli studi (Lauree Magistrali, Dottorati di Ricerca, corsi di Master).  
<https://www.phys.uniroma1.it/fisica/didattica/corsilauree/laurea-triennale-fisica>

<https://corsidilaurea.uniroma1.it/>

### SBOCCHI OCCUPAZIONALI E PROFESSIONALI

La formazione metodologica, lo spettro di conoscenze e la flessibilità operativa acquisiti consentono al laureato in Fisica, qualora non intenda proseguire gli studi nel secondo livello, di trovare collocazione in una ampia gamma di aree professionali, che richiedono conoscenze specifiche relative a sistemi naturali ed artificiali, e in genere in tutte le attività ad alto grado di innovazione tecnologica sia nel settore pubblico che in quello privato.

Gli ambiti di riferimento comprendono l'industria, con particolare riguardo a quella elettronica, spaziale, dei semiconduttori e dell'energia, le attività di valutazione di qualità dei prodotti, i laboratori di ricerca e sviluppo, il monitoraggio e la valutazione ambientale, il terziario relativo all'impiego dei calcolatori (per es. sistemi di acquisizione ed elaborazione di dati), il settore commerciale scientifico (per es. tecnico commerciale/tecnico di assistenza) e il settore finanziario.

Per ciò che concerne il curriculum di Astrofisica, negli Osservatori Astronomici è ormai consolidata l'esigenza di un'interfaccia tra l'astronomo, che definisce l'attività scientifica, e la strumentazione. Diventa quindi indispensabile la presenza di una figura professionale che sappia sia gestire la strumentazione, sia ottimizzare il programma osservativo in funzione dell'obiettivo scientifico.

Il curriculum in Fisica Applicata è specificamente rivolto agli studenti che desiderano accedere al mondo del lavoro senza frequentare la Laurea Magistrale. Comprende quindi corsi applicativi e di laboratorio.

La laurea in Fisica prepara specialisti in Scienze Matematiche Fisiche e Naturali (Categoria ISTAT 2.1.1, e più specificamente Fisici e Astronomi, cat. 2.1.1.1) la cui formazione potrà essere completata attraverso un corso di Laurea di secondo livello.

### IL CORSO DI STUDIO

I tre curricula presenti all'interno della laurea in Fisica prevedono: l'acquisizione di un bagaglio matematico adeguato alla comprensione degli argomenti relativi ai corsi del triennio; conoscenza e comprensione della Fisica Classica (Meccanica, Termodinamica ed Elettromagnetismo), degli elementi essenziali dell'Ottica e della Chimica, dei fondamenti della Fisica Moderna, con particolare riguardo alla Meccanica Quantistica, Statistica e alla Relatività; conoscenze di base in campi avanzati come l'Elettronica, la Fisica degli Stati Aggregati e, nel caso del curriculum di Fisica, la Fisica Nucleare e Subnucleare; conoscenze degli elementi essenziali dell'Informatica (struttura dei calcolatori, reti, linguaggi di programmazione ecc.). Per ciò che concerne il curriculum in Astrofisica è prevista l'acquisizione di competenze di base in informatica e di progettazione di software applicativo astro-fisico-spaziale. Sempre per questo curriculum alcune attività di laboratorio sono progettate per acquisire competenze applicative nel campo dell'Astrofisica e delle scienze spaziali.

### IMMATRICOLAZIONE, TRASFERIMENTI, RICONOSCIMENTO ESAMI

Il regolamento didattico prevede norme dettagliate sui seguenti aspetti (ulteriori indicazioni sono disponibili presso la Segreteria didattica):

- requisiti necessari per l'immatricolazione
- modalità di verifica delle conoscenze in ingresso, mediante una prova, **obbligatoria ma non selettiva**
- passaggi e trasferimenti di studenti provenienti da corsi di laurea della Sapienza, da altre Università, o da istituti militari d'istruzione superiore
- abbreviazioni di corso per iscritti, possessori di altro titolo di laurea triennale, specialistica, magistrale di un ordinamento previgente
- riconoscimento di CFU già acquisiti per effetto di uno dei casi precedenti o di esami di profitto extracurricolari (ex art. 6)

Tutte le informazioni al riguardo sono reperibili nel Manifesto generale degli Studi sul sito di Ateneo e sulle pagine di

Ateneo dei corsi di laurea: <https://corsidilaurea.uniroma1.it/>

### VERIFICA DELLE CONOSCENZE LINGUISTICHE

Il percorso formativo della laurea in Fisica prevede l'acquisizione di 3 CFU per la lingua inglese. Al termine del percorso lo studente deve avere una conoscenza della lingua inglese almeno a livello B1.

## Corso di Laurea Magistrale in Fisica

La laurea magistrale in Fisica (classe LM-17, Fisica) è articolata in quattro curricula: **Biosistemi**, **Teorico Generale**, **Condensed Matter Physics: Theory and Experiment**, **Fundamental Interactions: Theory and Experiment**.

Il terzo e il quarto curriculum sono erogati in inglese: tutti i corsi fondamentali ed opzionali dei due curricula sono in inglese. Per quanto riguarda i curricula in Biosistemi e Teorico Generale, tutti gli esami fondamentali sono in lingua inglese; alcuni opzionali vengono comunque erogati in italiano. Dato l'alto grado di internazionalizzazione del corso di laurea magistrale una buona conoscenza della lingua inglese è richiesta all'iscrizione. Al termine del percorso di studi, lo studente deve avere una conoscenza della lingua inglese a livello B2.

Obiettivo formativo del corso di laurea è la formazione di un fisico con una solida preparazione di base ed adeguate conoscenze specialistiche in uno dei settori della fisica moderna corrispondenti al curriculum prescelto.

A tal fine, il percorso formativo prevede il completamento della formazione di base attraverso corsi di fisica teorica, di fisica matematica e di laboratorio sperimentale comuni ai vari indirizzi e l'approfondimento specialistico relativo al curriculum prescelto. Gli indirizzi sono tutti fortemente collegati alle attività di ricerca scientifica attive nel Dipartimento, che coprono i settori della fisica della materia, della fisica delle particelle elementari, della fisica teorica, della biofisica, della fisica medica e delle applicazioni dell'elettronica e dell'informatica alle ricerche di fisica. Si veda la parte di questa pubblicazione dedicata alla ricerca svolta in Dipartimento.

Il lavoro di Tesi, che occupa buona parte del secondo anno, fornisce allo studente l'opportunità di essere inserito nell'attività di un gruppo di ricerca e completa la preparazione. È anche rivolto all'inserimento post-laurea nel mondo del lavoro, in particolare nei settori della ricerca pubblica e privata. <https://www.phys.uniroma1.it/fisica/didattica/corsilauree/laurea-magistrale-fisica>

<https://corsidilaurea.uniroma1.it/>

### REQUISITI DI AMMISSIONE

Per l'accesso alla Laurea Magistrale in Fisica è richiesto il possesso della laurea o del diploma universitario di durata triennale, ovvero di altro titolo di studio equivalente conseguito all'estero. È richiesta una buona conoscenza della fisica classica e moderna, delle basi della chimica, dei necessari strumenti matematici e informatici. Per ciascuna di queste discipline il regolamento didattico indica il numero

di CFU che devono essere stati acquisiti nella laurea triennale per poter accedere alla laurea magistrale. È anche richiesta la conoscenza della lingua inglese al livello B1.

Gli studenti che non siano in possesso di tali requisiti possono iscriversi a corsi singoli, come previsto dal Manifesto degli studi di Ateneo, e sostenere i relativi esami prima dell'iscrizione alla Laurea Magistrale.

Possono presentare domanda per l'immatricolazione al Corso di Laurea Magistrale anche gli studenti della Sapienza o provenienti da altri Atenei che non abbiano ancora conseguito la laurea, purché la conseguano entro le date indicate nel Manifesto degli Studi.

Il possesso delle conoscenze è verificato da un'apposita commissione formata da docenti del corso di studio, che sottopone eventualmente gli studenti a colloqui di verifica.

### INTERNAZIONALIZZAZIONE

Nell'ambito del movimento verso l'internazionalizzazione dell'Ateneo, un numero di anno in anno crescente di insegnamenti della laurea magistrale in Fisica viene erogato in lingua inglese. Come già specificato, a partire dall'AA 2019/20 due curricula sono interamente erogati in lingua inglese.

### PROVA FINALE

La prova finale consiste nella discussione di una Tesi, costituita da un documento, preferenzialmente in lingua inglese, che presenti i risultati di una ricerca originale, di carattere teorico o sperimentale.

La preparazione della Tesi si svolge sotto la direzione di un relatore e si svolge nel secondo anno del corso, occupandone circa i tre quarti.

La votazione finale si basa sulla valutazione del curriculum degli studi, della Tesi e della presentazione e sulla capacità di soddisfare i tempi stabiliti dall'ordinamento didattico. La Commissione di Laurea esprime la votazione in centodecimi. Essa può inoltre concedere al candidato il massimo dei voti con lode.

### SBOCCHI OCCUPAZIONALI E PROFESSIONALI

La formazione metodologica, lo spettro di conoscenze e la flessibilità operativa acquisiti consentono al laureato magistrale in Fisica di proseguire gli studi attraverso il Dottorato di Ricerca, i master di secondo livello e varie scuole di specializzazione. È anche possibile accedere ai corsi di tirocinio o di formazione per la preparazione di insegnanti per la scuola secondaria.

I laureati magistrali hanno inoltre la possibilità di trovare collocazione in una ampia gamma di aree professionali, che richiedono conoscenze specialistiche relative a sistemi naturali ed artificiali, e in genere in tutte le attività ad alto grado di innovazione tecnologica nel settore sia pubblico che privato.

Gli ambiti di riferimento comprendono l'industria, con particolare riguardo a quella elettronica, spaziale, dei semiconduttori e dell'energia, le attività di valutazione di qualità dei prodotti, i laboratori di ricerca e sviluppo, il monitoraggio e la valutazione ambientale, il terziario relativo all'impiego dei calcolatori (per es. sistemi di acquisizione ed elaborazione di dati), il settore finanziario.

La laurea magistrale in Fisica prepara specialisti in Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, in particolare Fisici e astronomi (ISTAT 2.1.1.1) e più specificamente Fisici (ISTAT 2.1.1.1.1), Ricercatori e tecnici laureati nelle scienze fisiche (ISTAT 2.6.2.1) e Professori di scienze matematiche e fisiche (ISTAT 2.6.3.2.1).

Sulla base dei dati di Almalaurea riguardanti i laureati delle magistrali in Fisica, l'adeguatezza della formazione professionale e l'efficacia della laurea in termini di conoscenze utili ai fini del lavoro svolto post-laurea sono molto alte, vedi dati Almalaurea.

## Corso di Laurea Magistrale in Astronomia e Astrofisica

Gli obiettivi formativi della Laurea Magistrale in Astronomia e Astrofisica sono dettati dalla classe di appartenenza (LM-58, Scienze dell'Universo).

I laureati di questo corso si caratterizzano per il raggiungimento dei seguenti obiettivi formativi:

- una sicura padronanza del metodo scientifico di indagine, basata su una solida cultura di base nella fisica classica e moderna e una approfondita conoscenza ed esperienza di utilizzazione di metodologie matematiche e strumenti informatici di supporto
- eccellente conoscenza dell'astronomia e astrofisica moderne, con ampie capacità scientifiche e operative, osservative e teoriche, nelle tematiche caratterizzanti la Classe
- competenza avanzata nelle moderne strumentazioni e tecniche osservative, nelle relative procedure di raccolta e di analisi dati e di elaborazione di modelli

Queste capacità possono inoltre consentire il proseguimento degli studi in Dottorati di Ricerca o in corsi di Master e di Scuole di Specializzazione per l'insegnamento. Il fine ultimo è mettere i laureati in grado di operare con grande autonomia, anche assumendo piena responsabilità di progetti e di strutture scientifiche e tecnologiche a livello nazionale e internazionale.

Il percorso formativo prevede il completamento della formazione di

base di fisica, matematica e di laboratorio nel primo anno. Nel secondo il percorso formativo comprende corsi e la preparazione del lavoro originale di Tesi. Al termine del percorso di studi, lo studente deve avere una conoscenza della lingua inglese a livello B2.

<https://www.phys.uniroma1.it/fisica/node/10142>

<https://corsidilaurea.uniroma1.it/>

### SBOCCHI OCCUPAZIONALI E PROFESSIONALI

La Laurea Magistrale in Astronomia e Astrofisica indirizza al lavoro di ricerca e di gestione di strutture e progetti tecnico-scientifici nelle Università, negli Istituti del CNR, negli Osservatori Astronomici, negli enti e istituzioni spaziali, nelle aziende pubbliche e private operanti in settori tecnologici avanzati. La Laurea Magistrale in Astronomia e Astrofisica prepara specialisti in Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, in particolare:

*Fisici e astronomi* (ISTAT 2.1.1.1)

*Ricercatori* (ISTAT 2.6.2.1)

*Professori di scuola secondaria superiore* (ISTAT 2.6.3.2.1).

Sulla base dei dati di Almalaurea riguardanti i laureati della magistrale in Astronomia e Astrofisica della Sapienza l'adeguatezza della formazione professionale e l'efficacia della laurea in termini di conoscenze utili ai fini del lavoro svolto post-laurea sono molto alte, vedi dati Almalaurea.

### INTERNAZIONALIZZAZIONE

Nell'ambito del movimento verso l'internazionalizzazione, comune a tutto l'Ateneo, un numero di anno in anno crescente di corsi della laurea magistrale in Astronomia e Astrofisica viene erogato in lingua inglese.

### REQUISITI DI AMMISSIONE

Per l'accesso alla Laurea Magistrale in Astronomia e Astrofisica è richiesto il possesso della laurea o del diploma universitario di durata triennale, ovvero di altro titolo di studio equivalente conseguito all'estero. È richiesta una buona conoscenza della fisica classica e moderna, delle basi della chimica, dei necessari strumenti matematici e informatici. Per ciascuna di queste discipline il regolamento didattico indica il numero di CFU che devono essere stati acquisiti nella laurea triennale per poter accedere alla laurea magistrale. E' anche richiesta la conoscenza della lingua inglese al livello B1.

Gli studenti che non siano in possesso di tali requisiti curriculari possono iscriversi a corsi singoli, come previsto dal Manifesto degli studi di Ateneo, e sostenere i relativi esami prima dell'iscrizione alla Laurea Magistrale.

Possono presentare domanda per l'immatricolazione al Corso di Laurea Magistrale anche gli studenti della Sapienza e provenienti da altri Atenei che non abbiano ancora conseguito la laurea, purché la conseguano entro le date indicate nel Manifesto degli Studi.

Il possesso delle conoscenze è verificato da un'apposita commissione formata da docenti del corso di studio, che sottopone eventualmente gli studenti a colloqui di verifica.

### PROVA FINALE

La prova finale consiste nella discussione di una Tesi, costituita da un documento, preferenzialmente in lingua inglese, che presenti i risultati di una ricerca originale, di carattere teorico o sperimentale. La preparazione della Tesi si svolge sotto la direzione di un relatore nel secondo anno del corso, occupandone circa i tre quarti.

La votazione finale si basa sulla valutazione del curriculum degli studi, della Tesi e della presentazione e sulla capacità di soddisfare i tempi stabiliti dall'ordinamento didattico. La Commissione di Laurea esprime la votazione in centodecimi. Essa può inoltre concedere al candidato il massimo dei voti con lode.

## Dottorati di Ricerca

Dopo il conseguimento di una laurea di secondo livello è possibile proseguire gli studi universitari per ottenere il Dottorato di ricerca. Nei paragrafi seguenti sono illustrati i corsi di Dottorato attivati presso il Dipartimento. <https://www.phys.uniroma1.it/fisica/node/5566>

### STRUTTURA DEI DOTTORATI

Il Dottorato di ricerca si articola su tre anni. L'accesso avviene tramite una prova di selezione, il cui bando esce annualmente ed è consultabile sul sito. I dottorandi sono tenuti a seguire i corsi specifici loro dedicati e sostenere i relativi esami, secondo un percorso formativo specifico. Essi sono inoltre tenuti a seguire i seminari generali che vengono tenuti nel Dipartimento nei tre anni di corso.

La suddivisione dell'attività nei tre anni è simile per i vari dottorati.

I dottorandi possono richiedere al collegio dei Docenti il permesso di svolgere periodi di formazione presso università e istituti di ricerca italiani o stranieri.

### DOTTORATO DI RICERCA IN FISICA

Segreteria: sig.ra Alba Perrotta - tel. 06 49914879, stanza 011, piano terra edificio Marconi, e-mail: [alba.perrotta@uniroma1.it](mailto:alba.perrotta@uniroma1.it)

Il Dottorato in Fisica è finalizzato alla formazione di ricercatori scientifici dotati di ampia cultura generale e, quindi, con piena flessibilità rispetto a qualsiasi scelta futura, e di elevata qualificazione professionale in tutti i settori disciplinari nei quali la ricerca in fisica è oggi attiva. L'obiettivo è di portare i dottorandi a livelli di preparazione e autonomia adeguati ad un loro inserimento in istituzioni di ricerca scientifiche e tecnologiche nazionali ed internazionali. A questi obiettivi è mirata l'offerta formativa del Dottorato, che consiste di un periodo iniziale dedicato principalmente a corsi avanzati e di una fase successiva riguardante una attività di ricerca in un settore specifico.

### DOTTORATO DI RICERCA IN ASTRONOMY; ASTROPHYSICS AND SPACE SCIENCE

Segreteria: sig.ra Carla Righetti - tel. 06 49918537 stanza 013, piano terra edificio Marconi, e-mail: [Carla.righetti@uniroma1.it](mailto:Carla.righetti@uniroma1.it)

Il dottorato in Astronomy, Astrophysics and Space Science è istituito in lingua inglese. Il bando del concorso di ammissione viene emanato ad anni alterni dalle Università in convenzione (Sapienza e Tor Vergata). Al termine del ciclo dottorale viene rilasciato titolo congiunto dalle due Università.

Obiettivo del dottorato è l'avvio alla ricerca nel campo dell'astrofisica e delle Scienze dello Spazio. I dottorandi dovranno acquisire una profonda conoscenza tecnica di tali argomenti, buona conoscenza della matematica, fisica e scienza dei calcolatori. Verrà sviluppata la capacità critica dei dottorandi, la conoscenza delle lingue italiana e inglese a livello tecnico e la capacità di raccogliere e presentare i propri risultati.

### DOTTORATO DI RICERCA IN FISICA DEGLI ACCELERATORI

Segreteria : sig.ra Laura Santonastaso - tel.: 06 49914356 - stanza 226 piano secondo, edificio Marconi - e-mail : laura.santonastaso@roma1.infn.it

Gli acceleratori di particelle sono stati sviluppati dai fisici nella ricerca delle interazioni fondamentali. Oggi essi sono diventati anche straordinari strumenti al servizio dell'industria, della medicina, dei beni culturali, dell'ambiente, dell'elettronica, della geologia e dei nuovi materiali.

Nell'industria gli acceleratori sono largamente impiegati in tutti i settori dell'elettronica dei semiconduttori, per lavorazioni meccaniche di precisione e come strumenti per la pastorizzazione di alcuni prodotti.

Tra le altre applicazioni ricordiamo

- la diagnostica medica, i nuovi farmaci, l'Adroterapia e la Spettrometria di massa;
- i laboratori di tecniche nucleari per i beni culturali;
- le analisi del particolato atmosferico, delle polveri fini disperse nell'aria, il tracciamento degli inquinanti nei flussi d'acqua, gli studi di paleoclimatologia;
- lo studio dei magmi, la composizione dei microcristalli e la stessa dinamica dei vulcani;
- l'emissione di luce di sincrotrone, il laser ad elettroni liberi, le sorgenti Compton, le sorgenti THz e la formazione d'immagini a raggi X.

L'obiettivo di questo corso di dottorato, unico in Italia, è la formazione di giovani ricercatori attraverso un percorso formativo realizzato con le competenze di eccellenza presso La Sapienza e l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), che storicamente sin dagli anni '50 ha contribuito allo sviluppo in Italia e nel mondo degli acceleratori di particelle.

I corsi, che sono tenuti in parte presso La Sapienza e in parte presso le sedi dell'INFN, hanno lo scopo di consolidare le conoscenze scientifiche di base nelle scienze fisiche, acquisite durante la laurea magistrale, di far acquisire una solida conoscenza dei principi e delle tematiche della costruzione e operazione degli acceleratori e di offrire una panoramica dei principali campi di applicazione di queste macchine.

### DOTTORATO DI RICERCA IN MODELLI MATEMATICI PER L'INGEGNERIA, ELETTROMAGNETISMO ENANOSCIENZE - CURRICULUM IN SCIENZA DEI MATERIALI

Uno dei curriculum di questo dottorato, che è nel Dipartimento di "Scienze di base ed applicate per l'ingegneria", è di particolare interesse per i laureati in fisica. Obiettivo di tale curriculum è la formazione di dottori di ricerca esperti nei campi di materiali innovativi su scala nanometrica.

Negli ultimi anni la scienza dei materiali si è sviluppata in tutto il mondo, data l'enorme richiesta di materiali speciali con peculiari caratteristiche e adatti alle più svariate applicazioni, dall'elettronica alla sensoristica, dalle scienze chimiche e fisiche alle applicazioni biologiche, dall'edilizia all'industria automobilistica o aeronautica, per citare solamente qualche esempio significativo. È importante quindi formare dei ricercatori che presentino il giusto equilibrio fra conoscenze di base e percezione degli orientamenti applicativi, come richiesto oggi dalle industrie e imprese che operano con tecnologie sempre più avanzate in una prospettiva di continua innovazione, e dagli ambienti di ricerca scientifica internazionali.

La scienza dei materiali, con particolare attenzione allo sviluppo dei nuovi materiali innovativi su scala nanometrica, si sviluppa in campi diversi, dalla chimica alla fisica, dalla fisica-chimica dei sistemi ibridi organico-inorganico all'elettronica, alla matematica applicata, alla cristallografia.

I gruppi di ricerca presenti soprattutto nei Dipartimenti di Fisica e di Chimica dell'Università "La Sapienza" di Roma hanno elevate competenze scientifiche di livello internazionale nei campi sopracitati e l'inserimento dei dottorandi di ricerca nei gruppi sperimentali attivi costituisce uno degli aspetti principali della formazione.

Per maggiori informazioni si veda:

[phd.uniroma1.it/web/MODELLI-MATEMATICI-PER-LINGEGNERIA-ELETTROMAGNETISMO-E-NANOSCIENZE\\_nD3523.aspx](http://phd.uniroma1.it/web/MODELLI-MATEMATICI-PER-LINGEGNERIA-ELETTROMAGNETISMO-E-NANOSCIENZE_nD3523.aspx)

### Aule e Laboratori

Il Dipartimento di Fisica dispone di 14 aule didattiche per un totale di circa 1500 posti a sedere, che consentono a tutti gli studenti iscritti di seguire le lezioni in modo idoneo.

I laboratori didattici, con una capienza di circa 400 postazioni, permettono agli studenti di eseguire esercitazioni pratiche con cadenza settimanale.

Gli studenti hanno anche accesso a laboratori informatici dotati di circa 100 personal computer, sia per seguire i corsi di carattere computazionale, sia per studio individuale. Il Dipartimento di Fisica dispone infine di una biblioteca e di una sala per lo studio individuale presso l'edificio Fermi.

Informazioni sulla locazione delle strutture sono reperibili in rete sul sito web del Dipartimento.



## Biblioteca di Fisica

### Informazioni

La Biblioteca del Dipartimento di Fisica ha realizzato negli ultimi anni un processo di trasformazione sia dal punto di vista strutturale e logistico che dal punto di vista della modernizzazione dei servizi.

Nel 2005 è stata inaugurata la nuova sede, che con spazi razionalmente distribuiti, ha permesso di rendere visibili e fruibili i nuovi servizi automatizzati, da raccolta tradizionale di volumi cartacei la biblioteca oggi è diventata anche il luogo dove si può accedere alla rete per leggere documenti digitali in linea. Tutto è stato reso possibile grazie all'aiuto ed alla collaborazione del personale bibliotecario e grazie alla progettualità ed all'innovazione fortemente voluta dal prof. Guido Martinelli, all'epoca direttore del Dipartimento e dal professore Giovanni Ciccotti, delegato del direttore per la biblioteca.

Consultate il nostro sito all'indirizzo:

<https://www.phys.uniroma1.it/fisica/biblioteca>

Dal portale si accede a tutti i servizi informativi e documentali messi a disposizione, ma è importante anche venire a trovarci!

La biblioteca del Dipartimento di Fisica si trova al piano terra dell'Edificio Marconi, presso la Città Universitaria, sede della Sapienza, in p.le Aldo Moro 5, è aperta:

**dal lunedì al venerdì con orario continuato dalle 9.00 alle 19.00**

ed è accessibile a chi è diversamente abile.

Inoltre è disponibile una sala studio di 32 posti al terzo piano dell'edificio Fermi.





### Servizi offerti

Ai servizi della biblioteca si può accedere sia in maniera tradizionale che in modalità online. Presso la zona di accoglienza è possibile iscriversi per consultare libri e riviste presso le due sale lettura con complessivi 90 posti (tutti dotati di prese di alimentazione elettrica per PC portatili), richiedere libri in prestito a casa, ottenere articoli di riviste non possedute dalla nostra biblioteca.

Inoltre grazie all'uso della tecnologia a radiofrequenza (RFID) è possibile avvalersi del servizio di autoprestito. Infatti tutti gli studenti possono richiedere su Infostud la nuova Card, predisposta da Sapienza, vedi su: <http://www.uniroma1.it/card-studenti>. Questa nuova CARD consente l'accesso alle sale h24 ed è anche utilizzabile presso la nostra biblioteca per effettuare l'autoprestito.

Tutti i volumi posseduti dalla biblioteca (monografie e periodici) sono presenti nel catalogo elettronico consultabile al seguente indirizzo: <https://opac.uniroma1.it/SebinaOpacRMS/.do?sysb=univ>.

### "FisicainMente"

Guida aggiornata alle risorse ed ai servizi della Biblioteca



online all'indirizzo :

[http://www.phys.uniroma1.it/fisica/sites/default/files/5801\\_Biblio\\_Fisica\\_Libretto\\_WEB.pdf](http://www.phys.uniroma1.it/fisica/sites/default/files/5801_Biblio_Fisica_Libretto_WEB.pdf)

Insieme ai servizi di base, presso la nostra biblioteca si possono prenotare ed usare 2 computer disponibili per la navigazione in Internet e si può accedere alla rete wireless Sapienza.

Per l'accesso al portale gli studenti Sapienza dovranno utilizzare le stesse credenziali di accesso a Infostud.

### I fondi archivistici

È quasi superfluo sottolineare la grande importanza, per la ricerca storico-scientifica, della documentazione archivistica costituita dalle carte degli scienziati, per ricostruire le loro vicende e il loro pensiero. L'attività di raccolta, conservazione, riordinamento e inventariazione di questi documenti riveste inoltre un intrinseco significato culturale, anche in considerazione del ruolo sempre più importante svolto dalla scienza nella società moderna.

Al momento sono custoditi nel nostro Dipartimento gli archivi personali di Mario Ageno, Edoardo Amaldi, Carlo Ballario, Goglio Careri, Marcello Conversi, Giovanni Gentile jr, Enrico Persico, Carlo Salvetti, Giorgio Salvini, Vittorio Somenzi, Bruno Touschek e Claudio Villi. I documenti custoditi costituiscono nel loro complesso la più rilevante fonte esistente in Italia per lo studio della storia della fisica italiana nel secondo dopoguerra. Il portale <https://sapienzadipisica.archiui.it/> ne permette l'interrogazione in rete.

In particolare, essendo stata estremamente rilevante la figura di Edoardo Amaldi nelle vicende scientifiche e istituzionali della fisica italiana ed europea, grandissima è l'importanza storica della documentazione costituita dalle carte che sono confluite nel Fondo Amaldi dopo la sua

scomparsa nel dicembre 1989.

Queste carte, in virtù del metodico stile di lavoro e della sensibilità per la conservazione della memoria propri di Edoardo Amaldi, costituiscono una testimonianza pressoché completa di tutti gli aspetti delle sue molteplici attività. Non è eccessivo affermare che nell'Archivio Amaldi è raccolta la memoria delle vicende della fisica italiana e di buona parte della collaborazione scientifica europea nella seconda metà del Novecento.

L'archivio contiene inoltre sporadiche testimonianze degli anni tra il 1928 e il 1938 che videro la collaborazione di Amaldi con Fermi, all'interno del gruppo dei ragazzi di via Panisperna, e una ricca documentazione relativa agli anni della guerra e a quelli immediatamente successivi.

## Informazioni generali

Il Dipartimento di Fisica della Sapienza è sede di attività didattica e di ricerca, è ubicato all'interno della Città Universitaria "La Sapienza", piazzale Aldo Moro 5, Roma.



Il Dipartimento di Fisica è composto da due edifici, l'edificio Marconi e l'edificio Fermi, dai Laboratori Segrè, situati all'interno della Città Universitaria di Roma - Sapienza, e dai Laboratori Bruno Pontecorvo, situati in via Tiburtina 205.





SITO

WEB